

Fermions excités et quêtes de nouvelles sous-structures de la matière

TRINH Thi Nguyet - postdoc

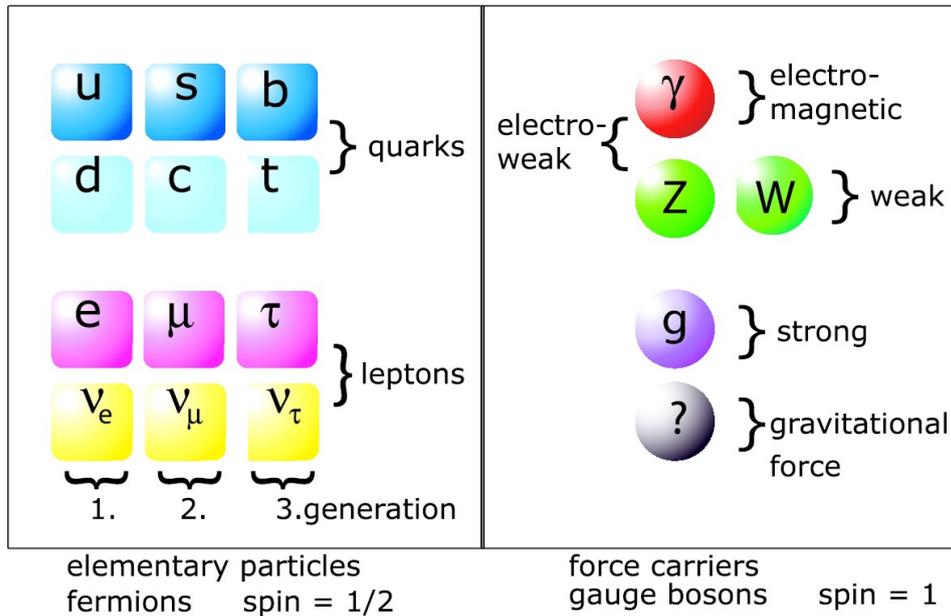
Laboratoire de Physique Nucléaire et de Hautes Energies - Paris

Contenu

- Compositeness et fermions excités dans les collisionneurs
- Recherche de fermions excités F^*
 - ↘ Recherche de e^* , ν^* , q^* à HERA
 - ↘ État des recherches de F^* à LEP, TEVATRON
 - ↘ Sensibilité aux F^* au LHC , ILC ou LHeC ?
- Conclusion et perspectives

États excités/exotiques: Pourquoi ?

☺ Le MS décrit très bien les mesures expérimentales, mais pose des questions cruciales



Dans MS:

- brisure de symétrie électrofaible est responsable de la masse des particules

- la brisure de symétrie vient du mécanisme de Higgs

↘ ou/quel est le boson Higgs?
($M_{\text{Higgs}} < 114.4 \text{ GeV}$ a 95% CL)

☹ Questions auxquelles le MS ne répond pas:

- ❓ Problème de hiérarchie ($M_{\text{EW}} < M_{\text{Pl}}$?) ?

↘ SUSY; Extra-dimensions ?

- ❓ Masse des particules & leur hiérarchie ?

- ❓ Pourquoi 3-familles similaires?

↘ Compositeness, Superstring ?

☞ Existence de sous-constituants aux quarks et leptons ?

☞ l'observation d'états excités des fermions serait une preuve directe de telles sous-structures

Compositeness et fermions excités - I

- Existence de sous-structures aux fermions ?
 - ☞ mais la nature exacte de ces sous-structures n'est pas connue
 - ☞ nous allons plutôt nous intéresser aux conséquences possibles de l'existence de telles sous-structures
 - ↘ une des conséquences serait l'existence d'états excités (F^*) des fermions

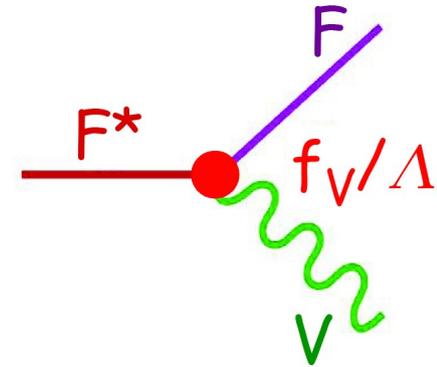
Compositeness et fermions excités - II

➤ 1^{ère} approche

- Fermions excités F^* organisés en iso-doublet $(e^*, \nu^*)_{L,R}$

[Hagiwara et al. ZPC 29(1985)115]

[Boudjema et al. ZPC 57(1990)425]



- F^* se couplent avec bosons de gauge et fermions ordinaires (FF^*V), par l'interaction de **Gauge Mediated (GM)**

- Lagrangien effectif :

$$\mathcal{L}_{GM} = \frac{1}{2\Lambda} \bar{F}_R^* \sigma^{\mu\nu} \left[\underset{\text{SU}(2)}{gf \frac{\tau^a}{2} W_{\mu\nu}^a} + \underset{\text{U}(1)}{g' f' \frac{Y}{2} B_{\mu\nu}} + \underset{\text{SU}(3)}{g_s f_s \frac{\lambda^a}{2} G_{\mu\nu}^a} \right] F_L$$

- Paramètres: échelle de sous-structure Λ , couplage de gauge f, f', f_s et masse M_{F^*}

➤ Pour diminuer le nombre de paramètres: hypothèse d'une relation entre f, f'

$$\mathbf{f} = -\mathbf{f}' \text{ et } \mathbf{f} = +\mathbf{f}'$$

Compositeness et fermions excités - III

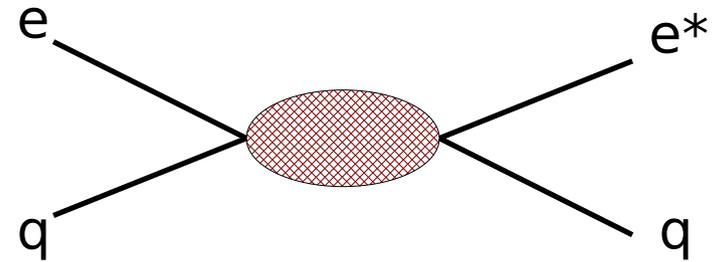
- Existence de sous-structure : se manifeste par des **interactions de contact (CI)**

➤ seconde approche pour coupler fermions excités F^* et fermions F

[Baur et al. PRD 42(1990)815]

- Lagrangien quatre-fermions effectif :

$$\mathcal{L}_{CI} = \frac{4\pi}{2\Lambda^2} j^\mu j_\mu$$



$$j_\mu = \eta_L \bar{F}_L \gamma_\mu F_L + \eta'_L \bar{F}^*_L \gamma_\mu F^*_L + \eta''_L \bar{F}^*_L \gamma_\mu F_L + h.c. + (L \rightarrow R)$$

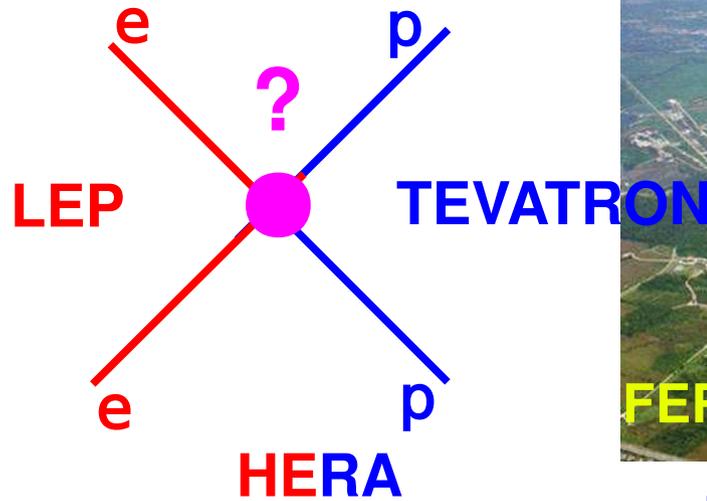
- Ici, Λ est supposé être le même que dans le Lagrangien de GM
 - Facteurs: $\eta_L = 1$ et $\eta_R = 0$ (par convention)

☞ Production possible de e^* par une combinaison de GM et CI ensemble

La frontière de grande énergie avec $o(1\text{fb}^{-1})$ (1990-2010)



0.21 TeV, $\sim 0.9 \text{ fb}^{-1}/\text{exp.}$



1.96 TeV, $\sim 2.5 \text{ fb}^{-1}/\text{exp.}$

~ 2 fois plus attendu jusqu'à 2009

actuellement presque tous résultats basés sur $\sim 1 \text{ fb}^{-1}$



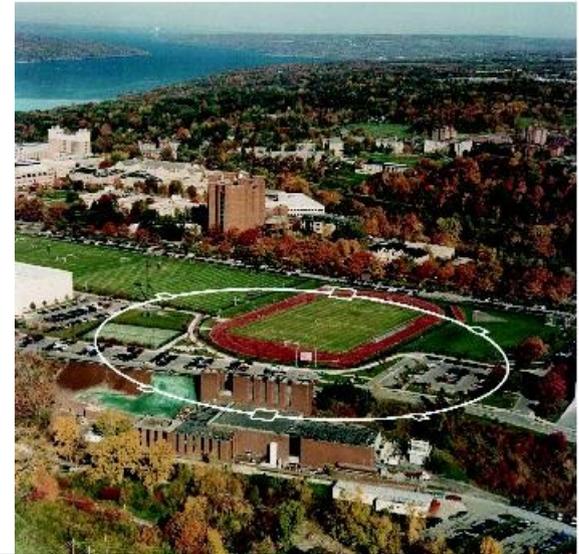
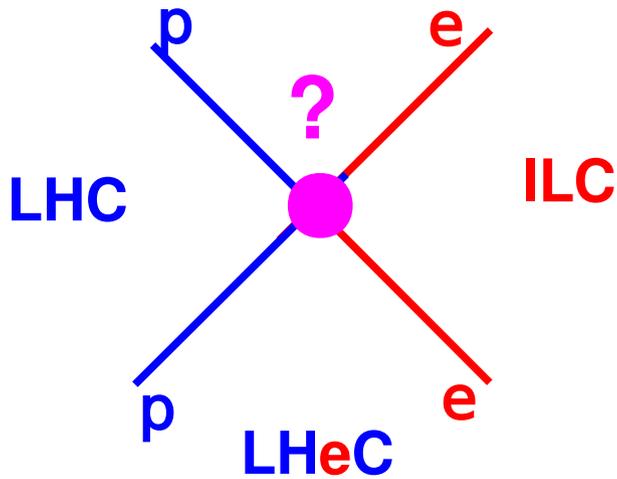
0.32 TeV, $\sim 0.5 \text{ fb}^{-1}/\text{exp.}$
...s'est arrêté en Juin 2007

La frontière de grande énergie ...



14 TeV

~ 1 fb⁻¹/exp.
attendu dans 2009 ?!



0.5 TeV



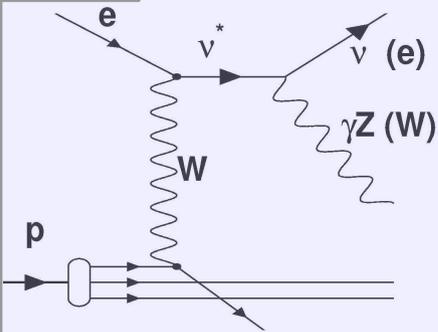
1.4 TeV - 2 TeV
~10 - 1 fb⁻¹/ans attendu..
(un projet proposée)

If a hadron collider will be built in the LEP tunnel then ep collisions are really a must
(G. Altarelli et al., Lausanne LHC Workshop 1984, Proc.p549)

F* via GM dans les collisionneurs - I

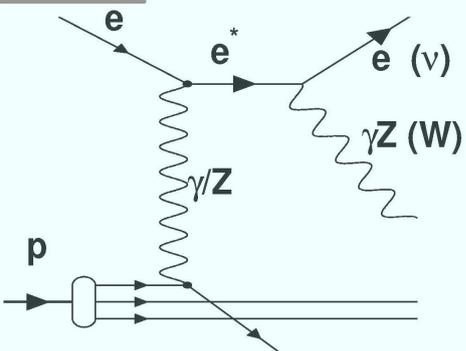
↪ La production et désintégration de la 1ère famille F* à HERA

ν^*



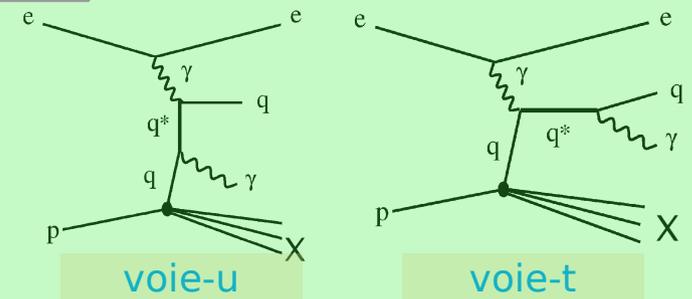
- production en voie-t échange du boson **W**
- désexcitation du ν^* par émission d'un $\gamma, Z^0/W$
- $\sigma(e p)/\sigma(e^+ p) \sim 100$ (charged current like prod.)
- ↪ H1 : utilise toutes les données e^-p

e^*



- production en voie-t échange du boson γ/Z
- désexcitation du e^* par émission d'un $\gamma, Z/W$
- H1 : utilise toutes les données $e^\pm p$

q^*



- production en voie t- et -u échange du boson $\gamma, Z/W$

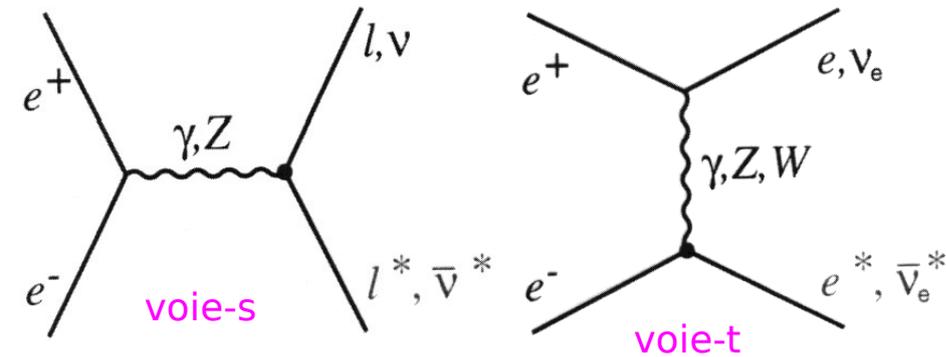
↪ $\sigma^{\text{tot}} = \sigma^t + \sigma^u + \sigma^{\text{interference}}$

- les 2 cas : $f_s=0$ et $f_s \neq 0$ sont considérés
- ↪ désexcitation du q^* par émission d'un $\gamma, Z/W/\text{gluon}$
- H1 : utilise toutes les données $e^\pm p$

F* via GM dans les collisionneurs -II

↳ La production et désintégration au LEP

◆ Production simple du F*, via voie-s et voie-t:

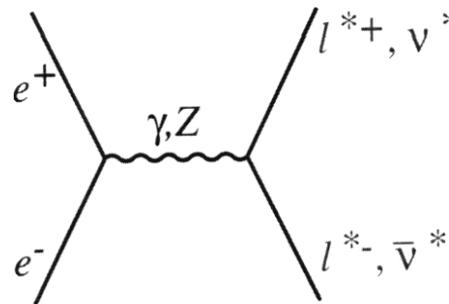


→ Découverte jusqu'à $M^* \sim \sqrt{s} = 209$ GeV

→ Pour toutes les familles

→ Voie-t: mécanisme de production similaire à celui de HERA, avec plus grande section efficace et plus faible bruit de fond mais plus faible énergie dans le centre de masse que HERA

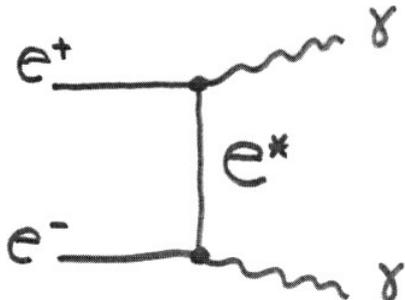
◆ Production d'une paire du F*:



→ Découverte jusqu'à $M^* \sim \sqrt{s}/2 = 105$ GeV

→ Pour toutes les familles

◆ Recherche indirecte:

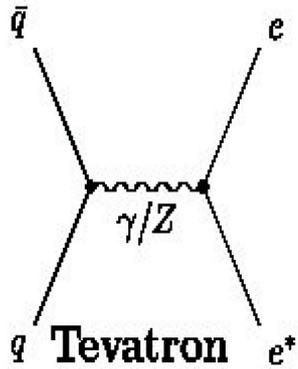


→ Pour la 1ère famille seulement

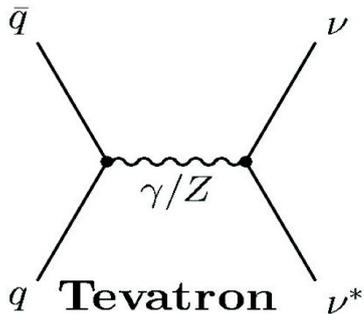
F* via GM dans les collisionneurs -III

La production et désintégration au TEVATRON

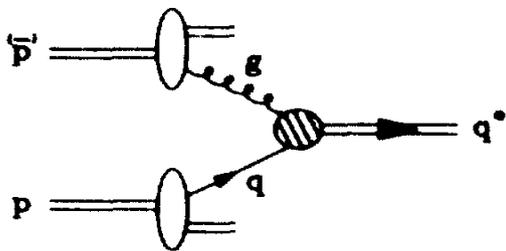
◆ Production simple de la 1ère famille de F* :



- signature: $(2e + \gamma)$ or $(2e + \text{jets})$
- analyse faite pour $(2e + \gamma)$



- signature: $(\gamma \text{ or jets} + P_{\text{tmiss}})$
- pas encore analysé

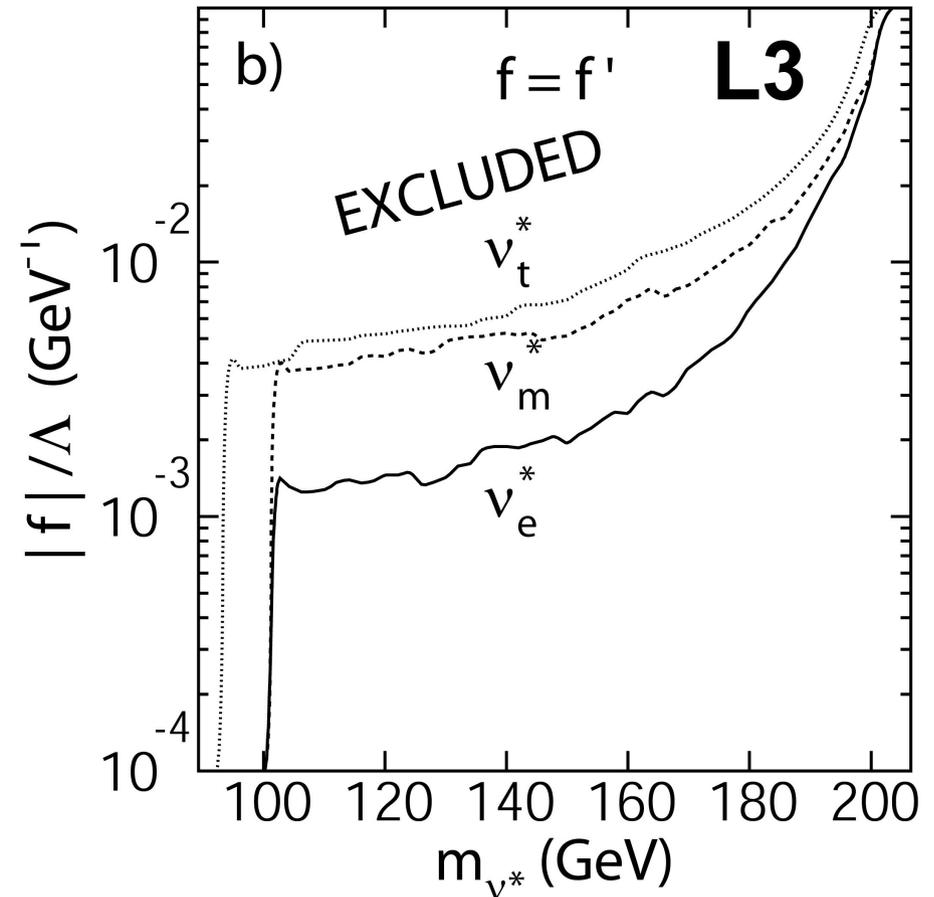
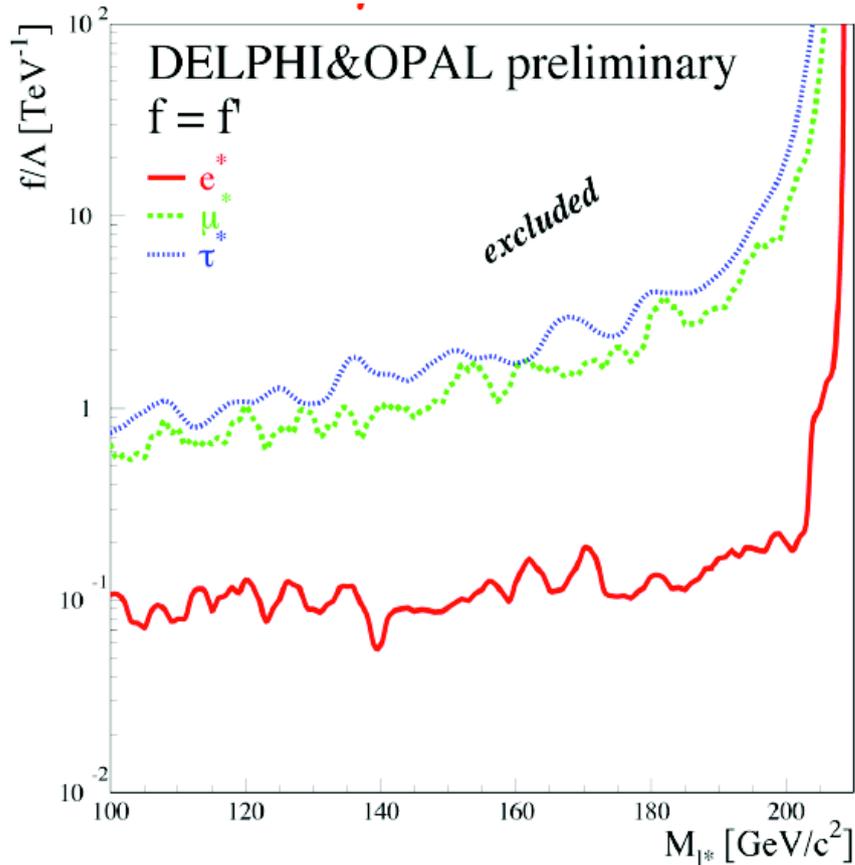


- signature: $(q + \gamma)$ or $(q + \text{gluon})$

◆ L'autre F* analysé : muon excité (μ^*), mais via l'interaction de contact seulement

Leptons excités @LEP

- Limites déduites pour un niveau de confiance de 95%
(toutes les données sont analysées)



☞ **limites indépendantes f/f' (prel.):**

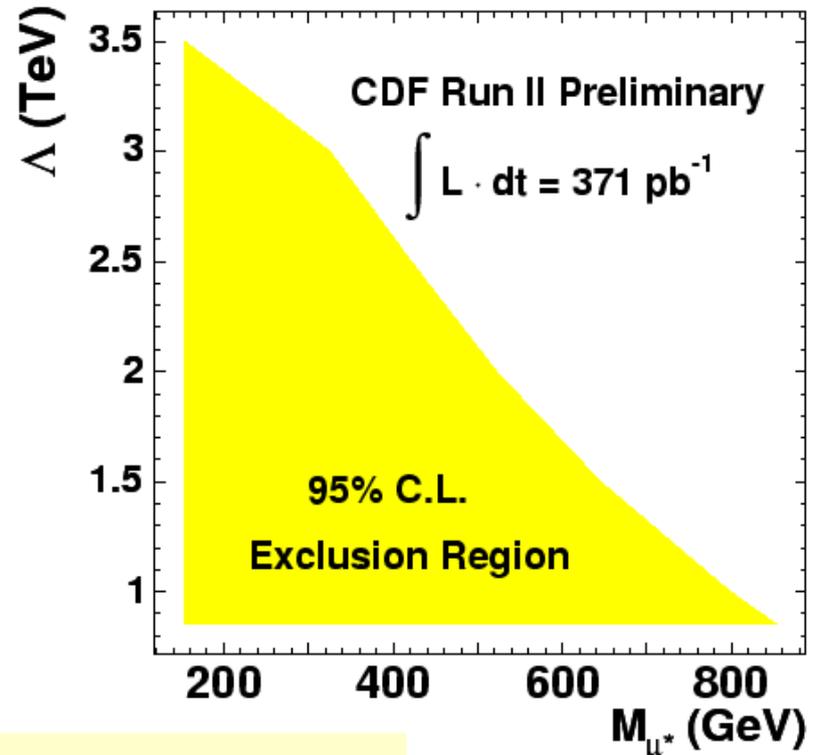
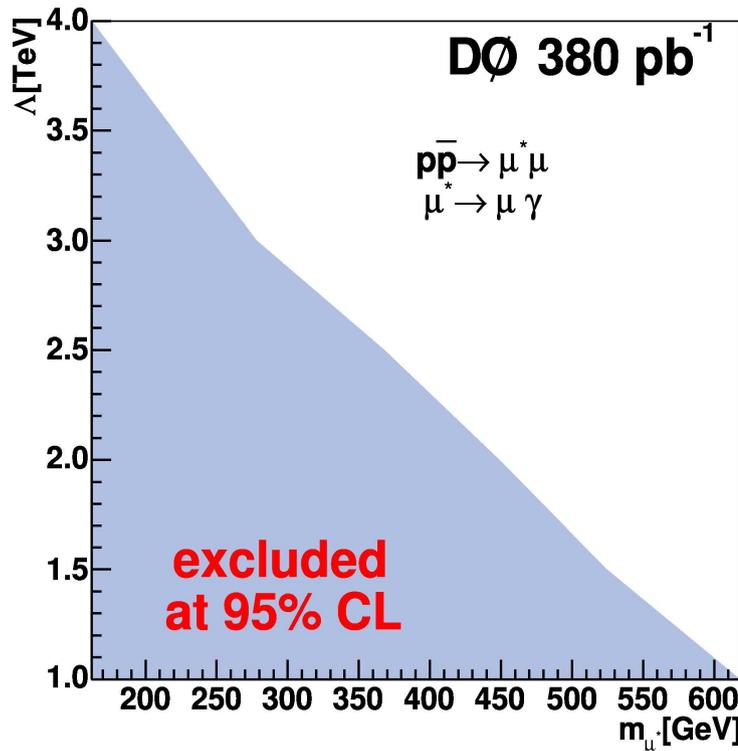
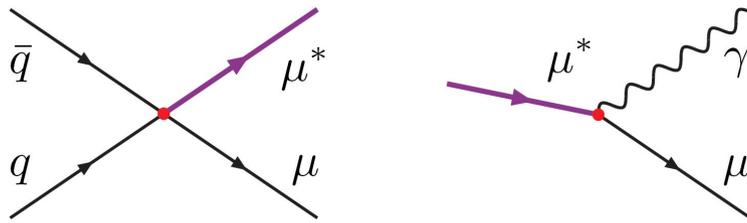
$M_{l^*} (e^*, \mu^*, \tau^*) < 96.5/96.6/95.6 \text{ GeV}$ sont exclus

☞ **limites indépendantes f/f' (prel):**

$M_{\nu^*} < 101.5/101.4/91.3 \text{ GeV}$ sont exclus

Muon excité @Tevatron

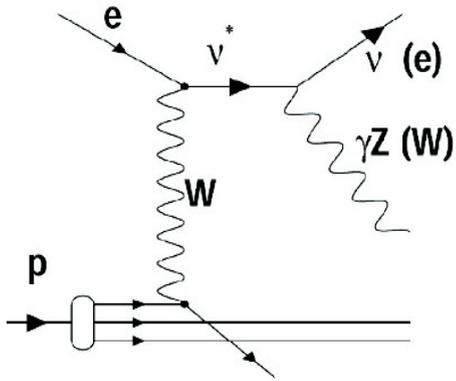
- Avec 2ème approche : production μ^* via CI et sa désintégration via GM



Si $\Lambda = m_{\mu^*}$ et désintégrations via GM :

- au D0 : $m_{\mu^*} < 688$ GeV sont exclues
- au CDF : $m_{\mu^*} < 696$ GeV sont exclues

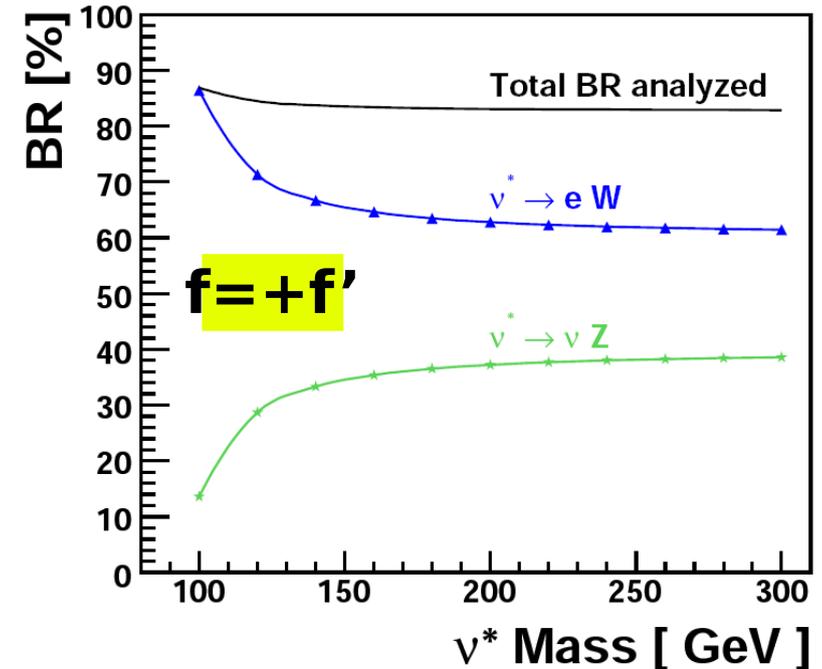
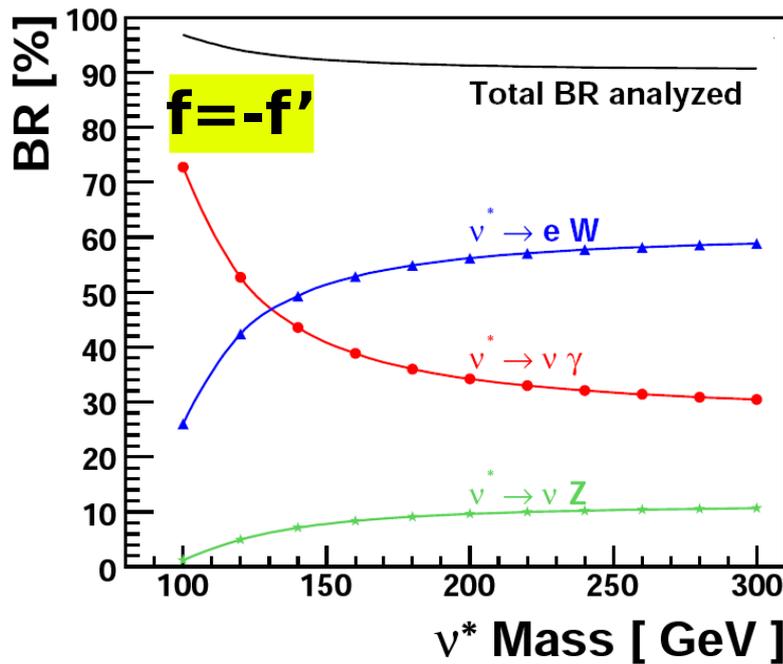
Neutrino excité @HERA : production & désintégration



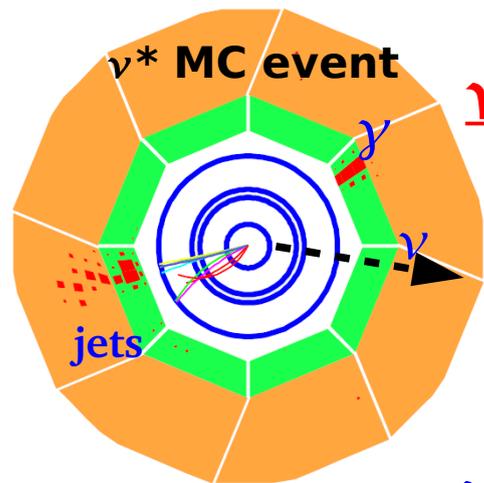
Canal	Signature	Bruit de fond MS
$\nu^* \rightarrow \nu\gamma$	$\gamma + P_T^{miss}$	Radiative CC DIS
$\nu^* \rightarrow \nu Z \hookrightarrow qq$	$P_T^{miss} + 2jets$	CC DIS + 2jets
$\nu^* \rightarrow eW \hookrightarrow qq$	electron + 2jets	NC DIS + 2jets
$\nu^* \rightarrow \nu Z \hookrightarrow ee$	2 electrons + P_T^{miss}	NC DIS, W production
$\nu^* \rightarrow eW \hookrightarrow e\nu$	2 electrons + P_T^{miss}	NC DIS, W production
$\nu^* \rightarrow eW \hookrightarrow e\mu$	electron + muon + P_T^{miss}	$\gamma\gamma \rightarrow ll$

Note: $\sigma(e^-p) / \sigma(e^+p) \sim 10^2$

➔ Rapport de branchement analysé ~ 90%



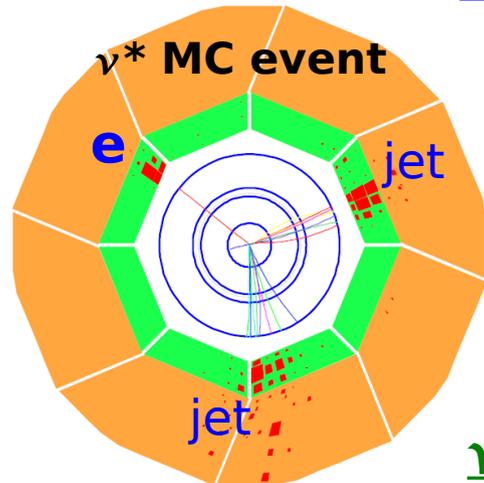
Neutrino excité : la méthode ...



$$\underline{\nu^* \rightarrow \nu \gamma}$$

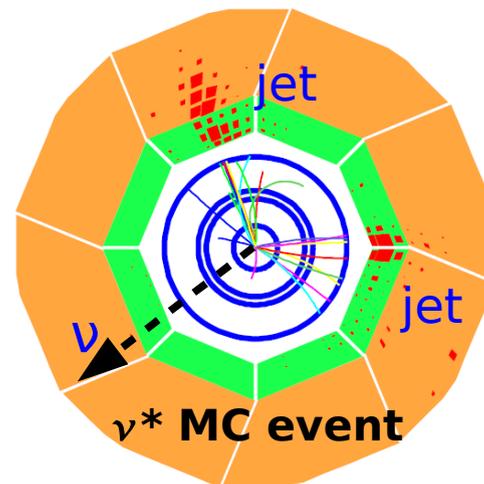
- amas e.m isolé (γ) et 1 jet $P_T^{\text{jet}} > 5 \text{ GeV}$
- 1 neutrino (ν) non-detecté, $P_T^{\text{miss}} > 20 \text{ GeV}$
- coupures pour réduire courant chargé (bruit principal)
 - $P_T^\gamma > 20 \text{ GeV}$ + coupures cinématiques supplémentaires

$$\underline{\nu^* \rightarrow e W}$$



- 1 electron, $P_T^e > 10 \text{ GeV}$
- 2 jets, $P_T^{\text{jet1, jet2}} > 20, 15 \text{ GeV}$
- + coupures pour réduire courant neutre
 - un candidat **W** est formé des 2 jets de masse invariante la plus proche de M_W

$$\underline{\nu^* \rightarrow \nu Z}$$



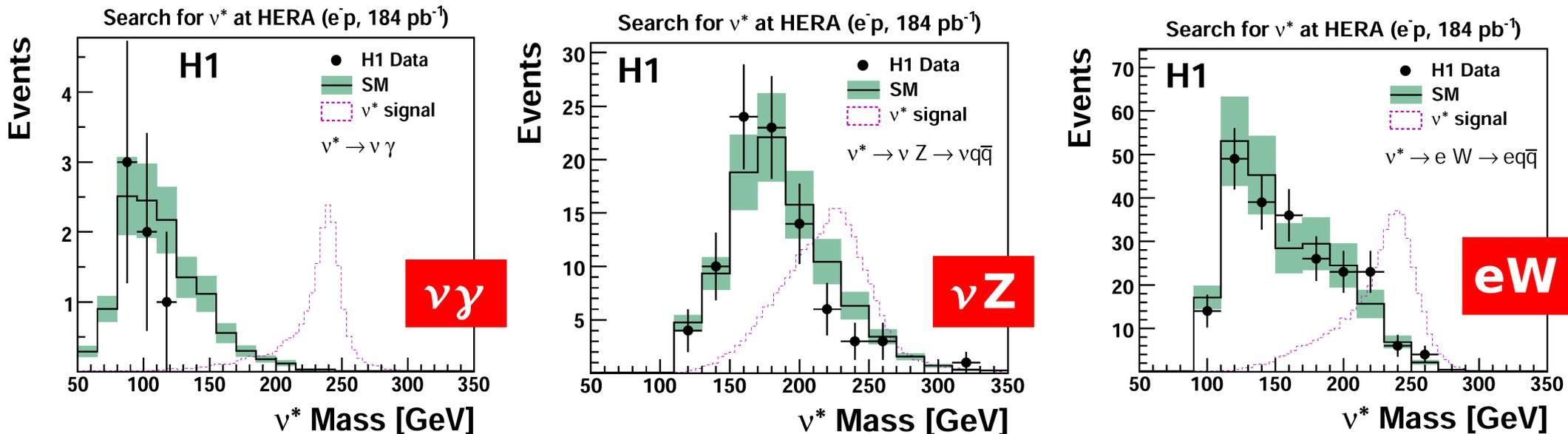
- 1 neutrino non-défecté, $P_T^{\text{miss}} > 20 \text{ GeV}$
- 2 jets, $P_T^{\text{jet1, jet2}} > 20, 15 \text{ GeV}$
- + coupures pour réduire courant chargé
 - un candidat **Z** est formé des 2 jets de masse invariante la plus proche de M_Z

Résultats de la recherche de ν^*

- Nombres d'événements finaux dans chaque canal :

Search for ν^* at HERA (e^-p , 184 pb^{-1})			
Channel	Data	All SM	Signal Efficiency
$\nu^* \rightarrow \nu\gamma$	7	12.3 ± 3	50 – 55%
$\nu^* \rightarrow \nu Z \rightarrow qq$	89	95 ± 21	25 – 55%
$\nu^* \rightarrow eW \rightarrow qq$	220	223 ± 47	40 – 65%
$\nu^* \rightarrow \nu Z \rightarrow ee$	0	0.19 ± 0.05	45%
$\nu^* \rightarrow eW \rightarrow e\nu$	0	0.70 ± 0.1	45%
$\nu^* \rightarrow eW \rightarrow e\mu$	0	0.40 ± 0.05	35%

- Distributions de masse invariante pour les 3 canaux principaux:



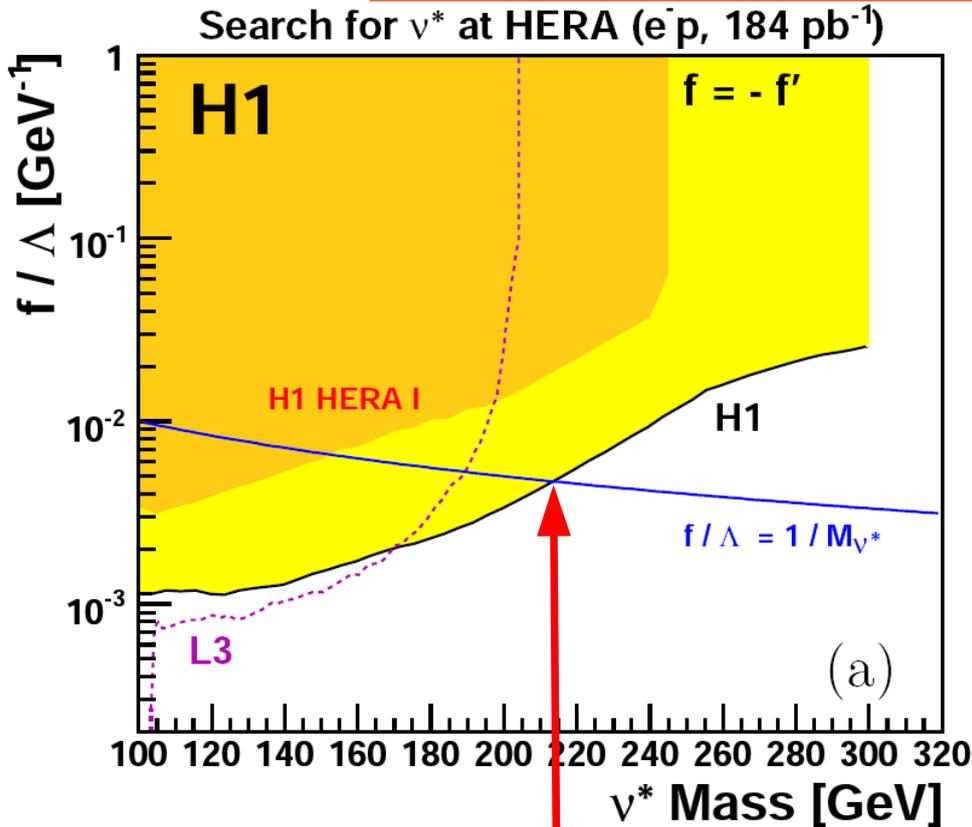
↪ Dans tous les canaux: bon accord entre les données et la prédiction du MS

↪ Aucune déviation significative

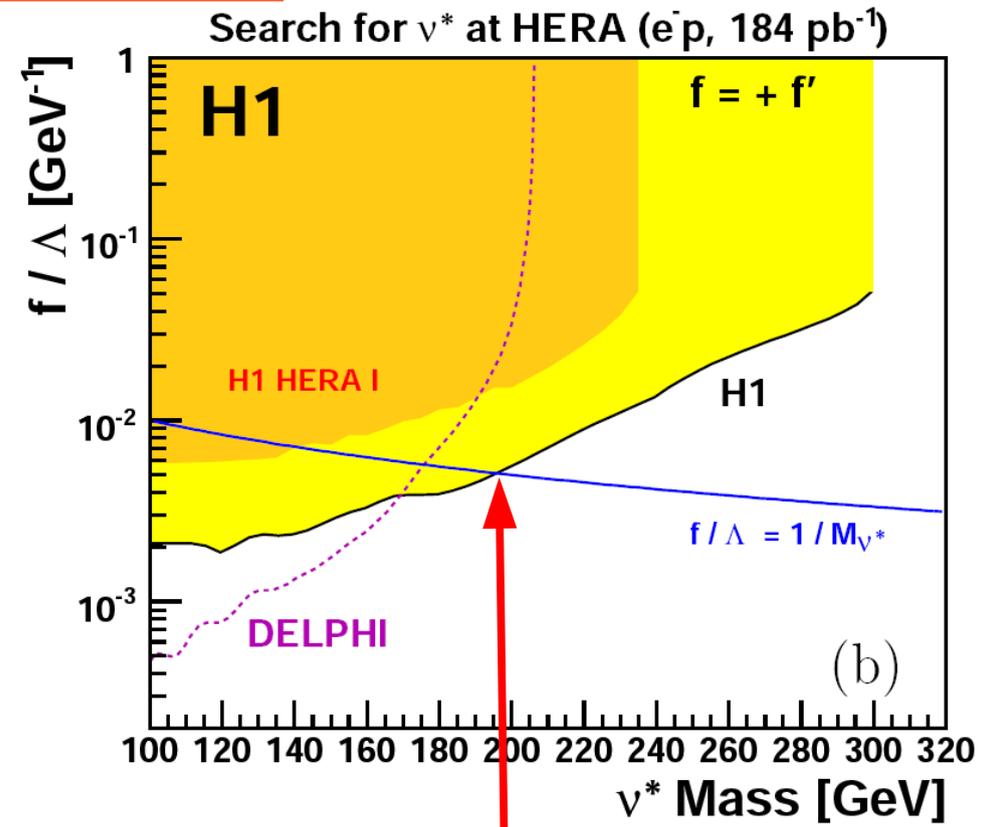
Limites sur f/Λ pour ν^*

- Limites déduites au niveau de confiance de 95%
- Limites finales de H1 comparées avec limites précédentes de H1 et celles du LEP

Phys. Lett. B663, 328, 2008



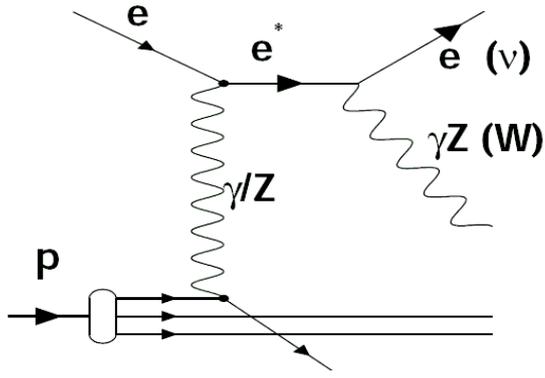
- si $f/\Lambda = 1/M_{\nu^*}$ et $f=-f'$
 $M_{\nu^*} < 213 \text{ GeV}$ exclues



- si $f/\Lambda = 1/M_{\nu^*}$ et $f=+f'$
 $M_{\nu^*} < 196 \text{ GeV}$ exclues

- Amélioration par rapport à HERA I
- Pour les masses au-delà de la portée du LEP: meilleure sensibilité

Electron excité @HERA : production & désintégration



Canal	Signature	Bruit de fond MS
$e^* \rightarrow e\gamma$	2 e.m clusters	QED Compton, NC DIS
$e^* \rightarrow eZ \rightarrow q\bar{q}$	electrons + 2jets	NC DIS + 2jets
$e^* \rightarrow \nu W \rightarrow q\bar{q}$	$P_T^{miss} + 2jets$	CC DIS + 2jets
$e^* \rightarrow \nu W \rightarrow e\nu$	electron + P_T^{miss}	CC DIS, W production
$e^* \rightarrow eZ \rightarrow \nu\nu$	electron + P_T^{miss}	CC DIS, W production
$e^* \rightarrow eZ \rightarrow ee$	3 electrons	$\gamma\gamma \rightarrow ll$
$e^* \rightarrow eZ \rightarrow \mu\mu$	electron + 2 muons	$\gamma\gamma \rightarrow ll$

➔ Canaux hadronique semblables à ν^*

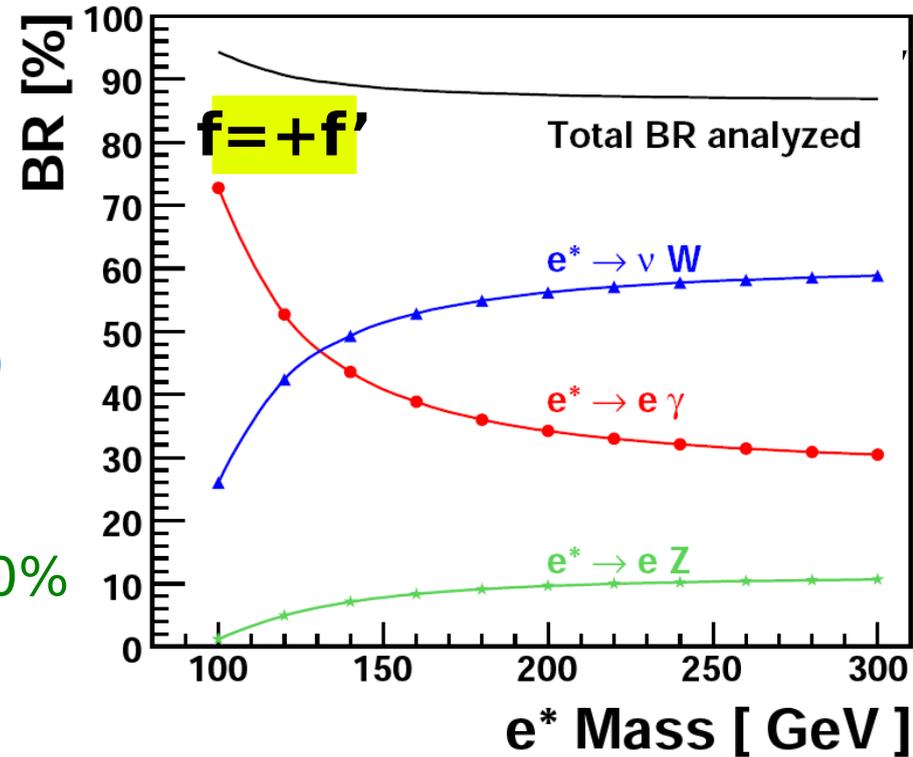
● Si $f = -f'$, $C_{\gamma e^* e} = 0$:

➔ section efficace très faible

($\sigma_{(f=+f')} = 7.3 \times 10^{-3} \text{ pb}$, $\sigma_{(f=-f')} = 7.8 \times 10^{-6} \text{ pb}$
pour $M_{e^*} = 200 \text{ GeV}$)

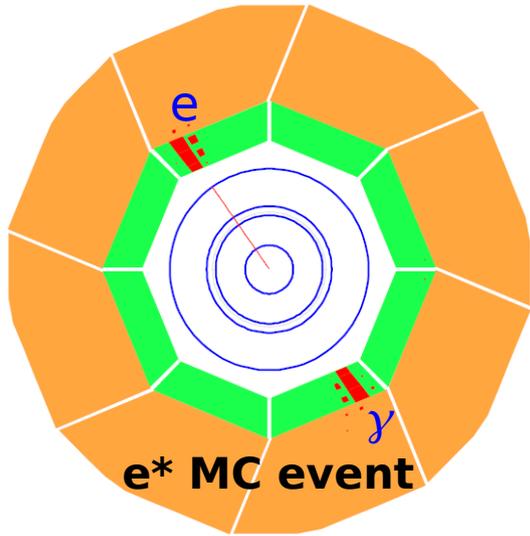
👉 seulement le cas $f = +f'$ est étudié

➔ Rapport de branchement analysé ~ 90%



Electron excité : la méthode...

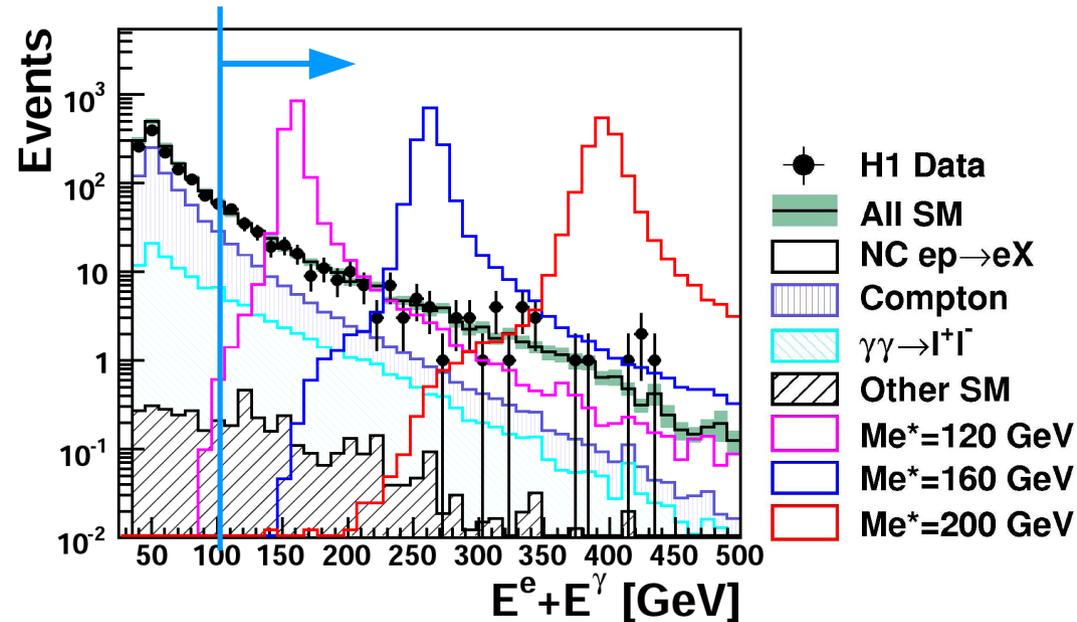
$e^* \rightarrow e\gamma$ (le meilleur canal)



- au moins 2 amas e.m. isolés: $P_T^{e,\gamma} > 20, 15 \text{ GeV}$
- + coupures pour réduire les bruits de fond
QED Compton & Courant Neutre
- séparation en élastique $E_h < 5 \text{ GeV}$ / inélastique $E_h > 5 \text{ GeV}$
 - ↘ meilleure sensibilité
(sources de bruit de fond différentes)

$e^* \rightarrow \nu W \rightarrow qq$ (similaire à $\nu^* \rightarrow \nu Z \rightarrow qq$)

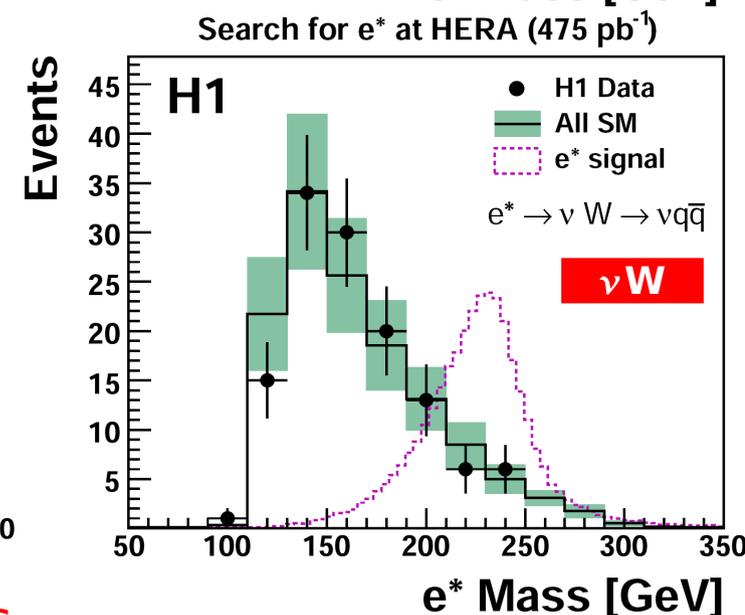
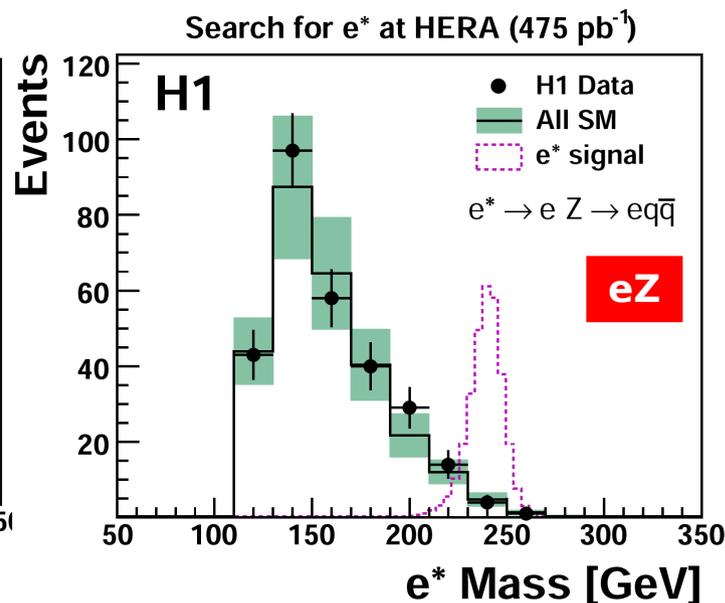
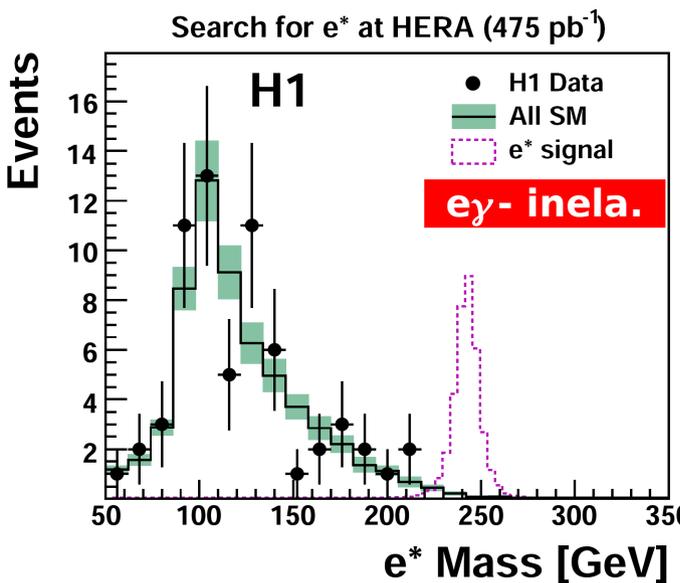
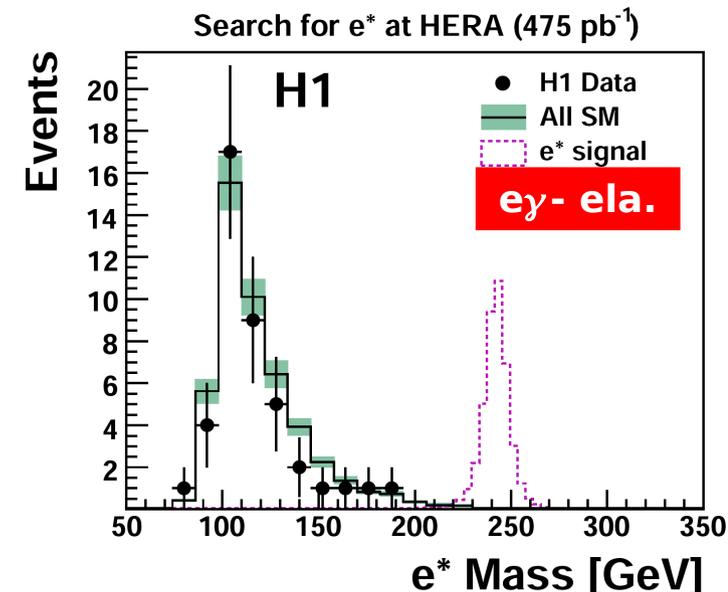
$e^* \rightarrow eZ \rightarrow qq$ (similaire à $\nu^* \rightarrow eW \rightarrow qq$)



Electron excité : résultats ...

- Distributions de masse invariante pour les 3 canaux principaux:

Search for e^* at HERA (475 pb^{-1})			
Channel	Data	All SM	Signal Efficiency [%]
$e^* \rightarrow e\gamma$ (elastic)	42	48 ± 4	60–70%
$e^* \rightarrow e\gamma$ (inelastic)	65	65 ± 8	60–70%
$e^* \rightarrow \nu W \rightarrow q\bar{q}$	129	133 ± 32	20–55%
$e^* \rightarrow \nu W \rightarrow e\nu$	4	4.5 ± 0.7	60
$e^* \rightarrow eZ \rightarrow \nu\nu$	4	4.5 ± 0.7	35
$e^* \rightarrow eZ \rightarrow q\bar{q}$	286	277 ± 62	20–55%
$e^* \rightarrow eZ \rightarrow ee$	0	0.72 ± 0.06	60%
$e^* \rightarrow eZ \rightarrow \mu\mu$	0	0.52 ± 0.05	40–15%



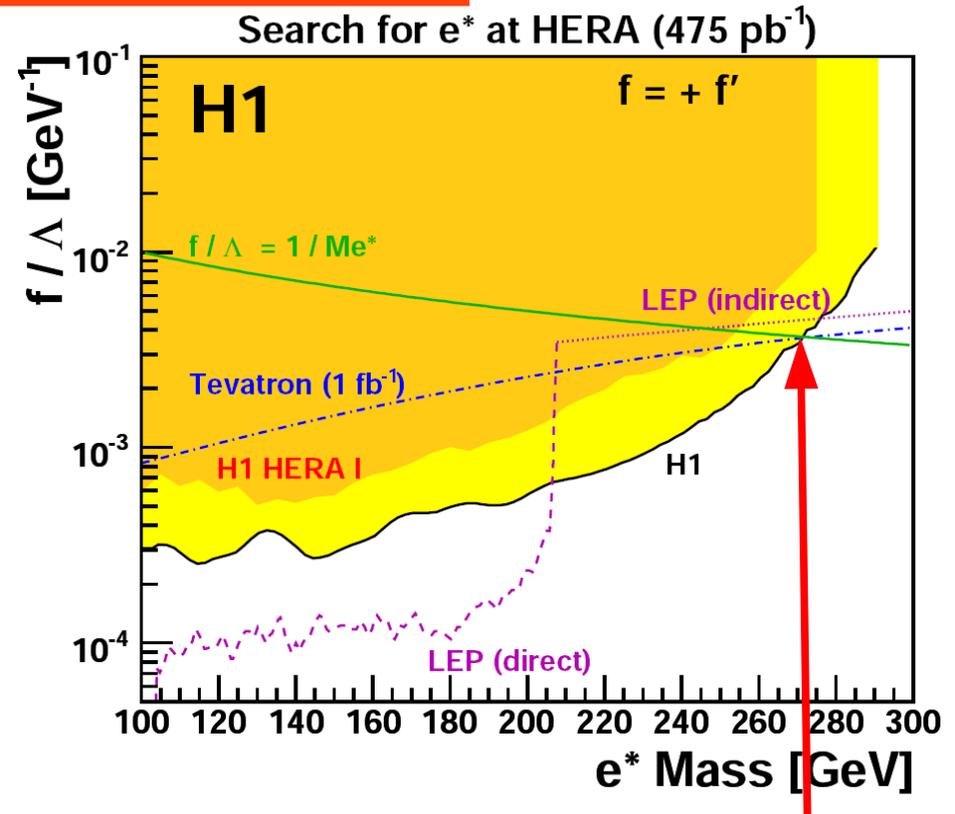
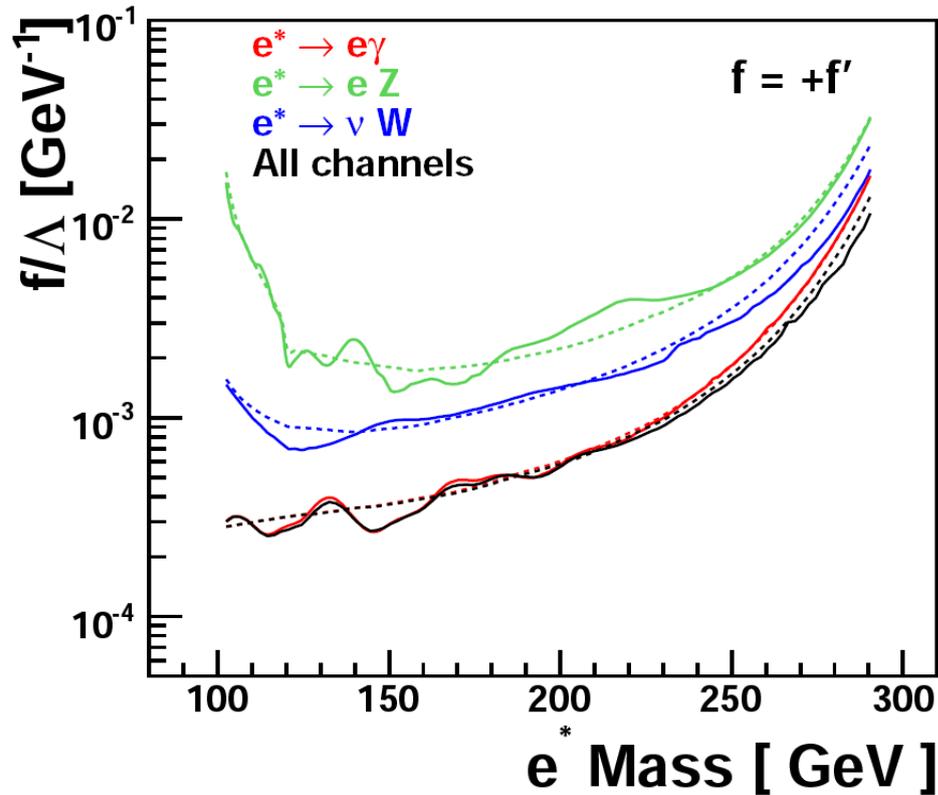
↪ bon accord entre les données et la prédiction du MS

↪ Aucune déviation significative

Limites sur f/Λ pour e^*

- Limites déduites pour chaque canal pour un niveau de confiance de 95%

Phys. Lett. B666, 131, 2008



➤ Limite combinée est dominée par le canal $e^* \rightarrow e\gamma$

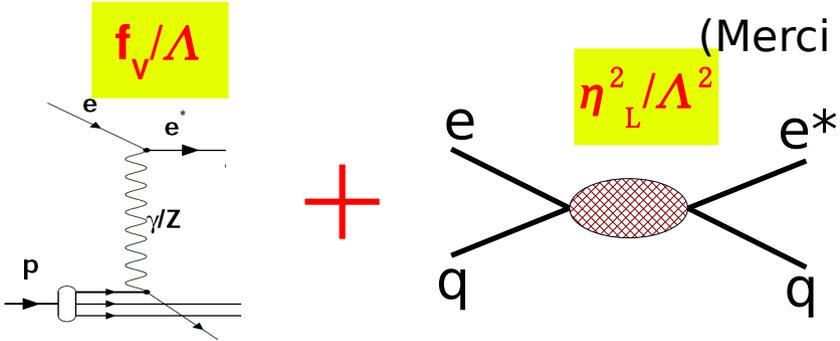
● Pour $f = +f'$ et $f/\Lambda = 1/Me^*$:
 $Me^* < 272$ GeV sont exclues

- étend les résultats précédents de HERA et du LEP
- plus faibles valeurs sondées de f/Λ que le TEVATRON

Electron excité : la source d'interaction de contact?

→ interprétation avec une production de e^* par GM & CI ensemble

(Merci à M. Spira pour le calcul de la section efficace)

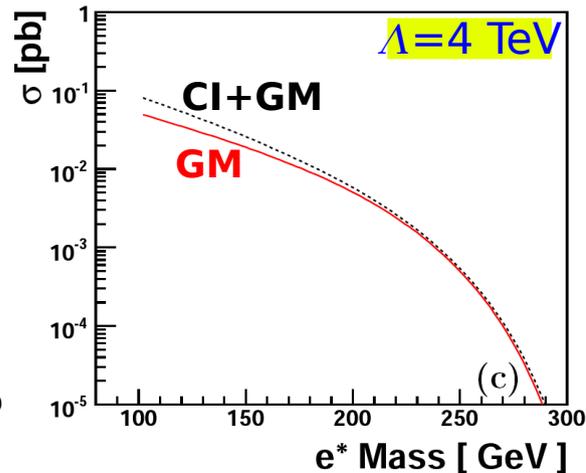
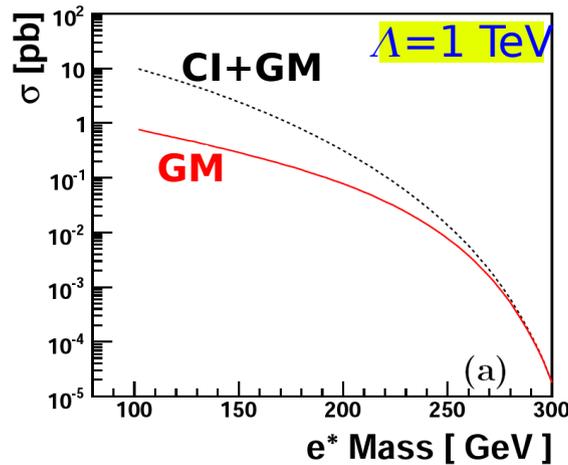


(pour simplification, Λ est considéré être le même dans CI et GM)

→ Section efficace totale de production

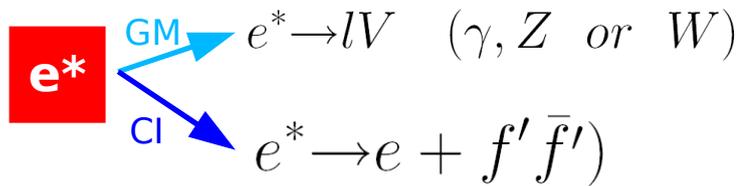
$$\sigma^{CI+GM} = \sigma^{GM} + \sigma^{CI} + \sigma^{interf}$$

(par convention, $\eta_R=0, \eta_L=1, f=f'=1$)

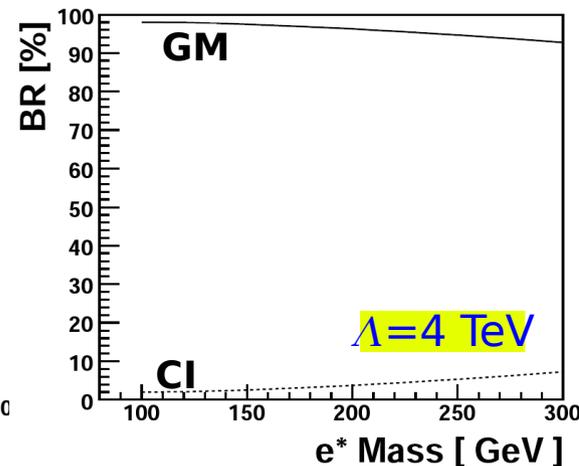
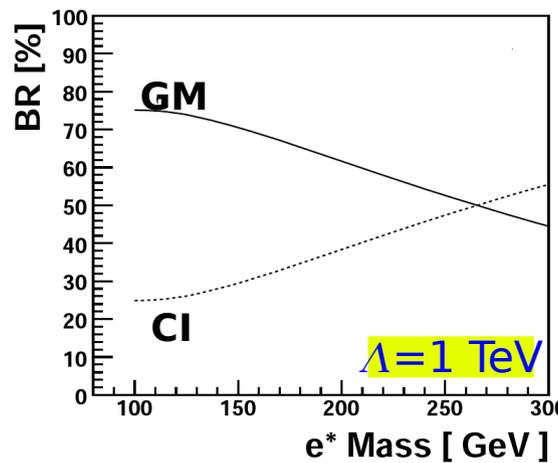


→ dans ce cas : σ^{interf} est destructif

→ Désintégration d' e^* :



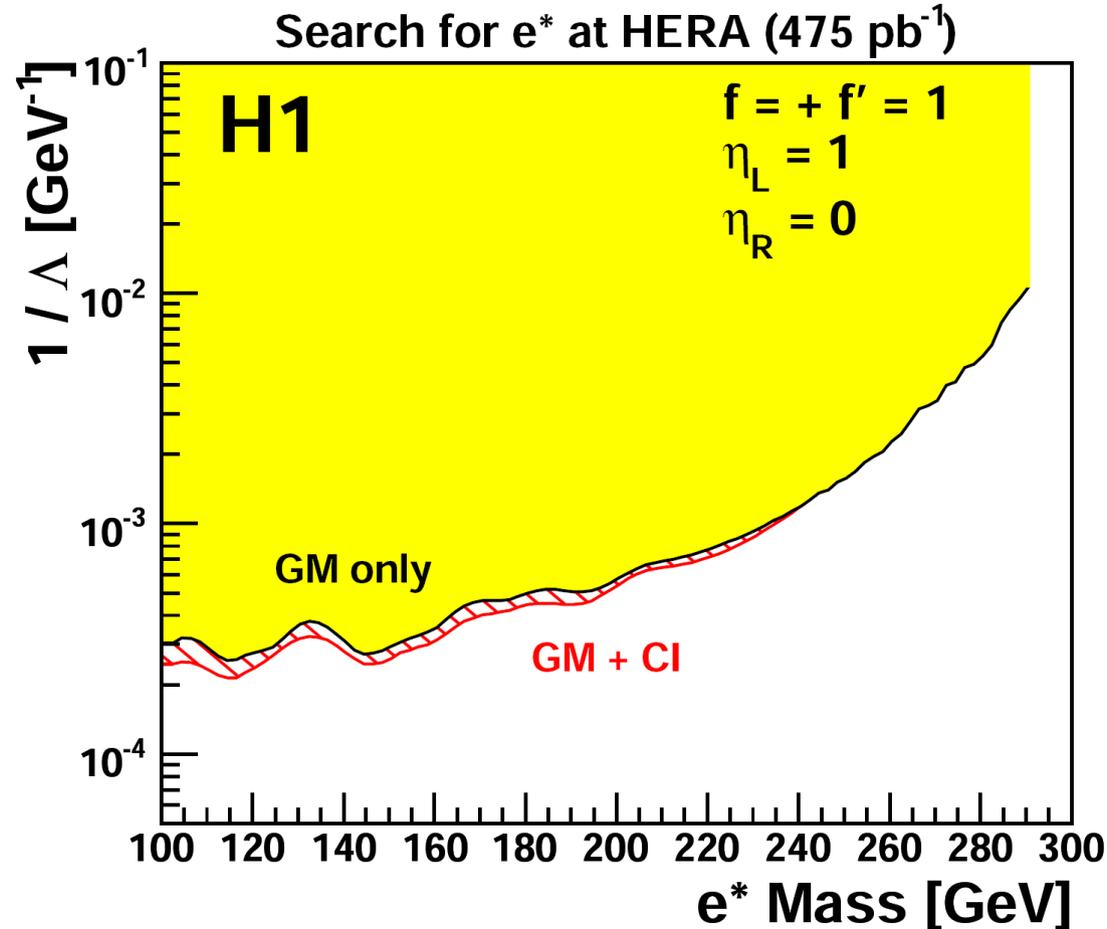
→ dans le domaine $\Lambda=4$ TeV et $m_{e^*} < 200$ GeV, décroissances par GM sont dominantes



Limite sur $1/\Lambda$ pour l'interaction de contact

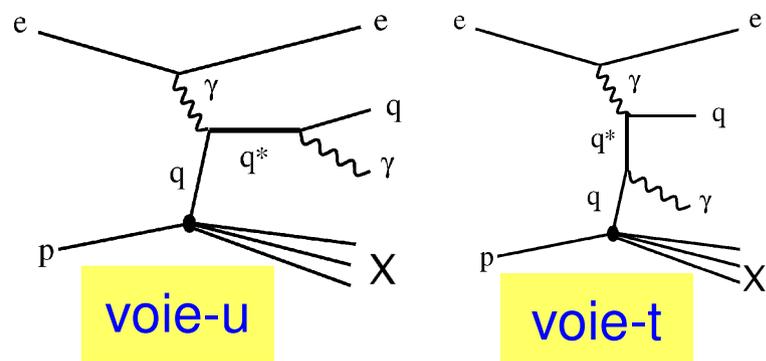
- Limite sur $1/\Lambda$, pour **GM** et pour **(GM+CI)**

↘ Que gagne t-on en ajoutant l'interaction de contact (CI) à celle de gauge dans les collisions ep?



↘ Limite sur $1/\Lambda$ augmente seulement d'un facteur de 1.15 si l'interaction de contact est considérée

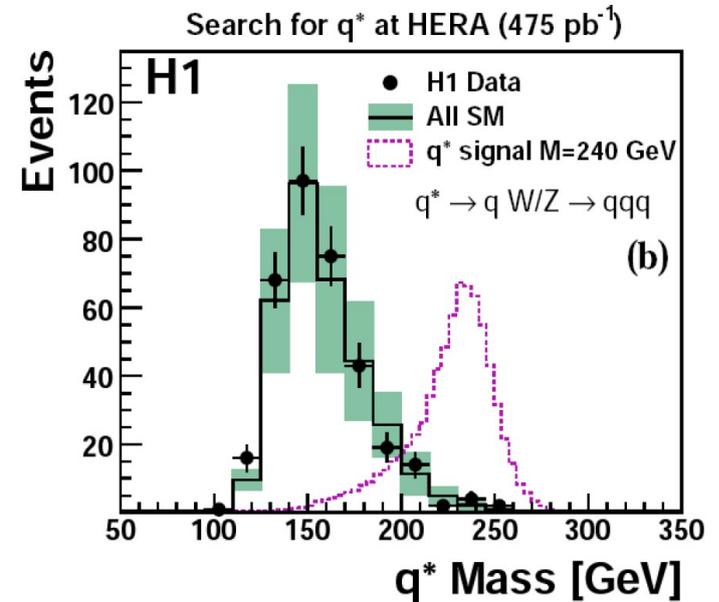
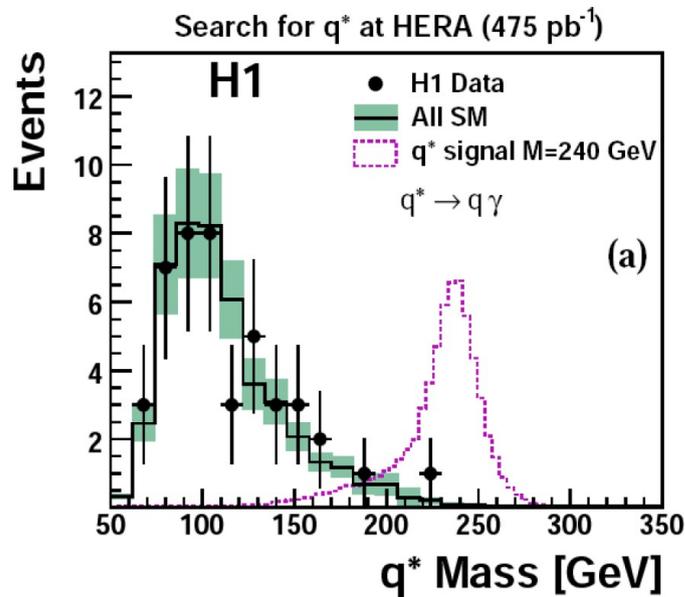
Recherche de quark excité @HERA



Search for q^* at HERA (475 pb^{-1})

Channel	Data	SM	Signal Efficiency [%]
$q^* \rightarrow q\gamma$	44	46 ± 8	35–45
$q^* \rightarrow qW/Z \rightarrow qq\bar{q}$	341	326 ± 117	5–55
$q^* \rightarrow qW \rightarrow qe\nu$	6	6.0 ± 0.8	20–30
$q^* \rightarrow qW \rightarrow q\mu\nu$	5	4.4 ± 0.7	20–40
$q^* \rightarrow qZ \rightarrow qee$	0	0.44 ± 0.08	15–30
$q^* \rightarrow qZ \rightarrow q\mu\mu$	0	0.87 ± 0.08	15–30

→ toutes les topologies sont considérées



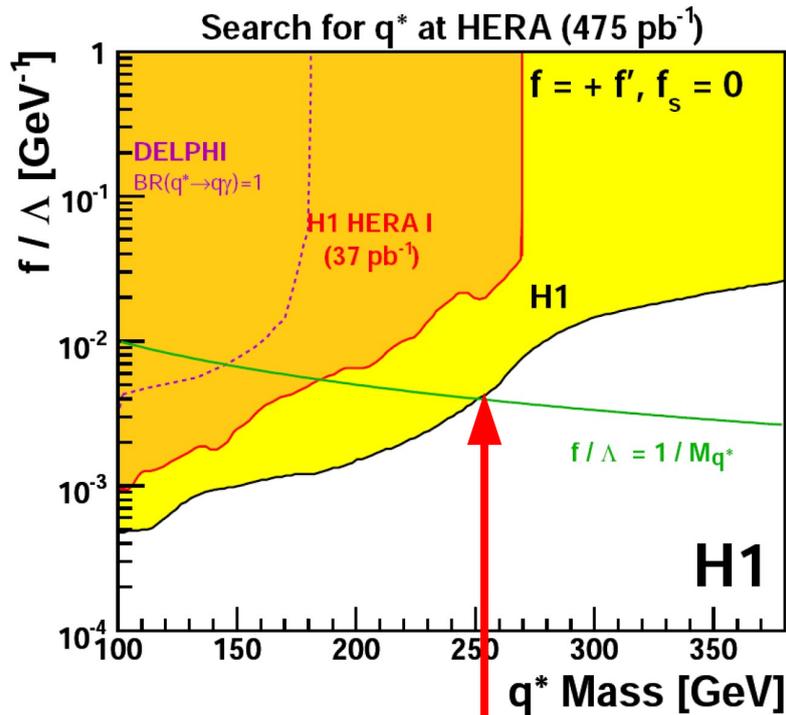
→ bon accord entre les données et la prédiction du MS

→ Aucune déviation significative

Quark excité : résultats ...

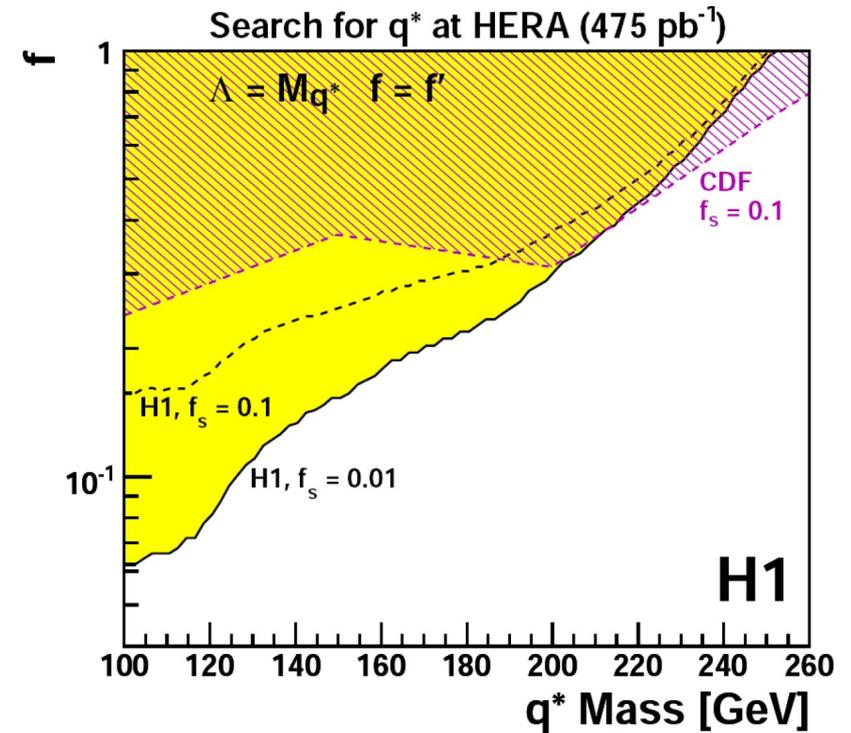
● Limites déduites :

① pour $f=f'$, $f_s=0$ et $\Lambda=Mq^*$



↘ Pour $f=+f'$, $f_s=0$ et $f/\Lambda=1/Mq^*$:
 $Mq^* < 251 \text{ GeV}$ sont exclues

② suppose $f=f'$ et $\Lambda=Mq^*$, limites déduites pour différentes valeurs de f_s fixés



↘ Pour $f_s < 0.1$ & basses Mq^* :
 sensibilité mieux que TEVATRON

Presque soumis à Phys. Lett. B

Leptons excités aux futur collisionneurs

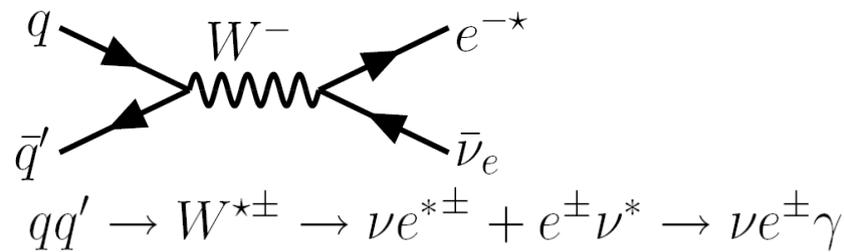
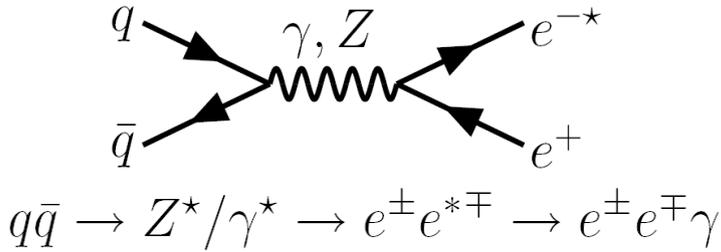
LHC, ILC et LHeC

[Phys. Rev D 65 (2002) 075003]

[Phys. Rev D 70 (2004) 075011]

- Après du collisionneur LHC (avec $\sqrt{s} \sim 14$ TeV)

→ Production simple du l^*



- ↘ Pour la production simple du l^* : avec l'hypothèse ($f=f'$ et $\Lambda=M^*$), le LHC sera capable d'étendre considérablement les contraintes actuelles en sondant des masses l^* jusqu'au **1-2 TeV**

→ Production d'une paire de l^*

- Après du collisionneur ILC (avec $\sqrt{s} \sim 500$ GeV) [Phys. Rev D 56 (1997) 2920]

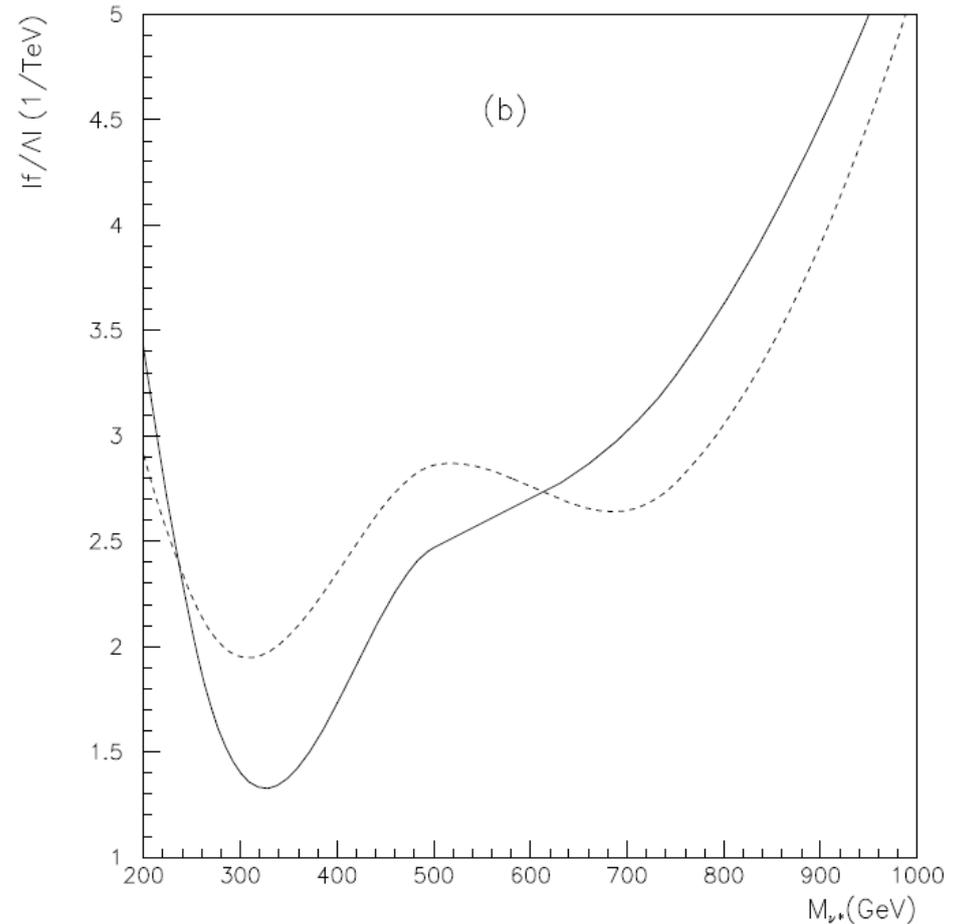
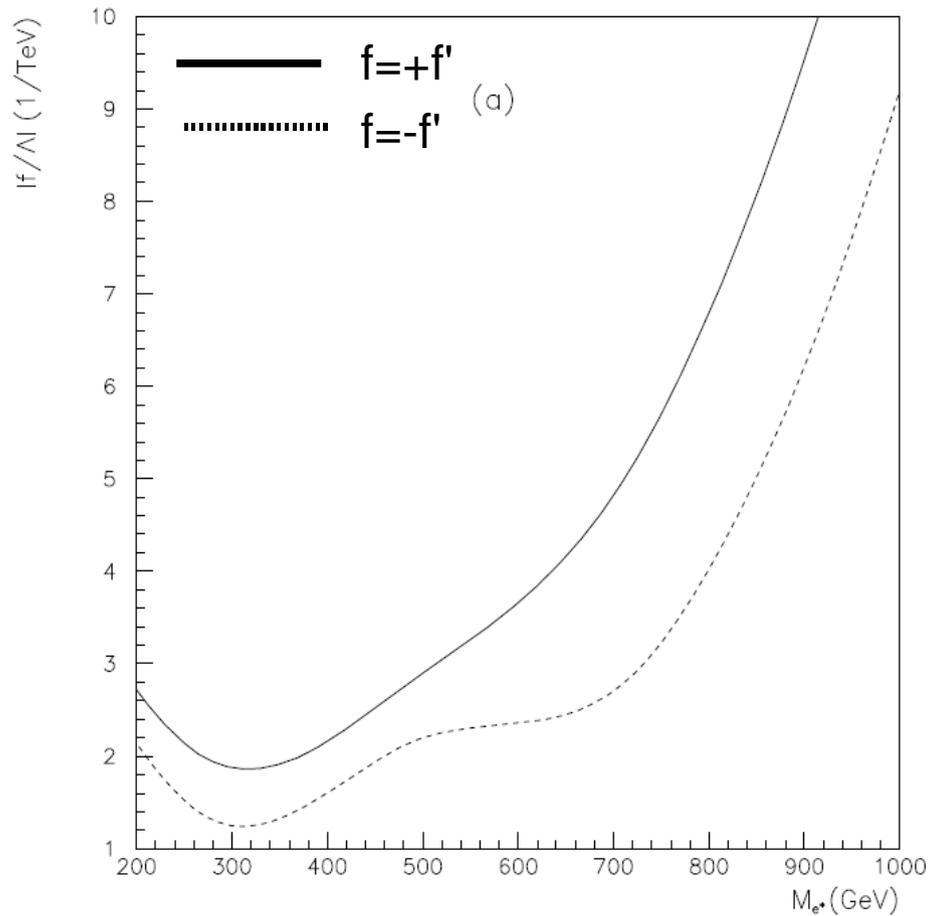
- ↘ Une sensibilité comparable au LHC pourrait être atteinte à l'ILC

- Après du collisionneur LHeC (avec $\sqrt{s} \sim 0.8$ TeV ou 1.4 TeV ou 2 TeV)?

Limites sur f/Λ pour e^*, ν^* @LHC

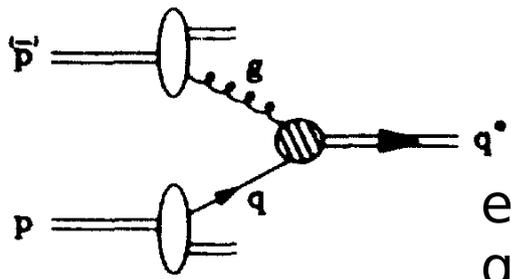
- Les résultats obtenues dans le cas de la production simple des leptons excités
- Limites sont combinées, pour les 2 hypothèses: $f=-f'$ et $f=+f'$

[Phys. Rev. D65 (2002) 075003]



Quarks excités à LHC

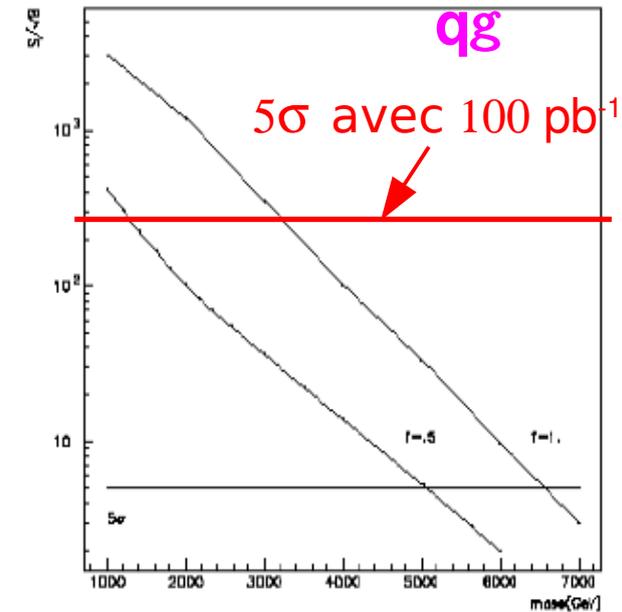
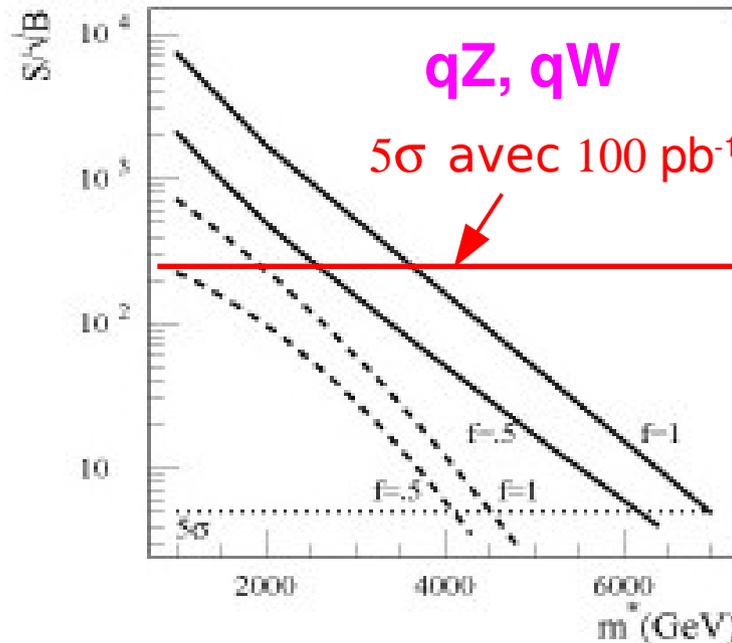
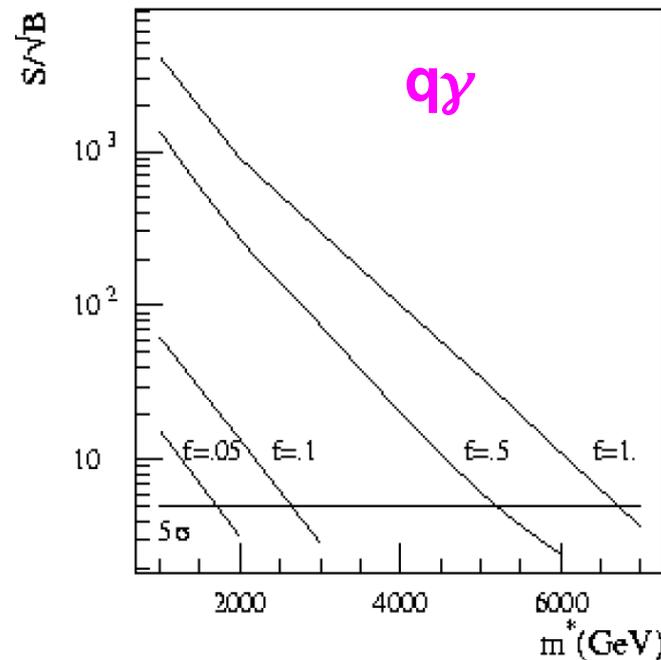
O. Çakir et al. ATL-PHYS 2000-030, 1999-024, 1999-002



et :

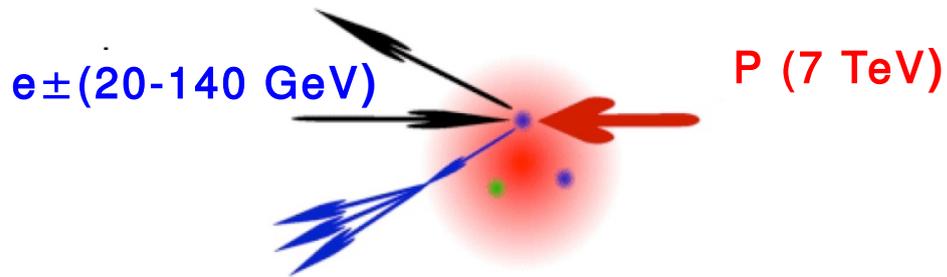
$q^* \rightarrow q\gamma, qW, qZ, qg$

- Sensibilité au signal de q^* déduite pour toutes les topologies



➤ Avec $L=100 \text{ pb}^{-1}$, par exemple, la masse pourrait être sondée jusqu'à 3.7 TeV pour $q^* \rightarrow qW$ et jusqu'à 2 TeV pour $q^* \rightarrow qZ$ et jusqu'à 3.2 TeV pour $q^* \rightarrow qg$

LHeC : "Large Hadron-Electron Collider"



↘ LHeC : La diffusion profondément inélastique au LHC

↘ énergie du centre de masse du LHeC $\sqrt{s} = 1.4 \text{ TeV}$ ($E_{e,p} = 70 \text{ GeV}, 7 \text{ TeV}$) 5 fois plus grand que HERA

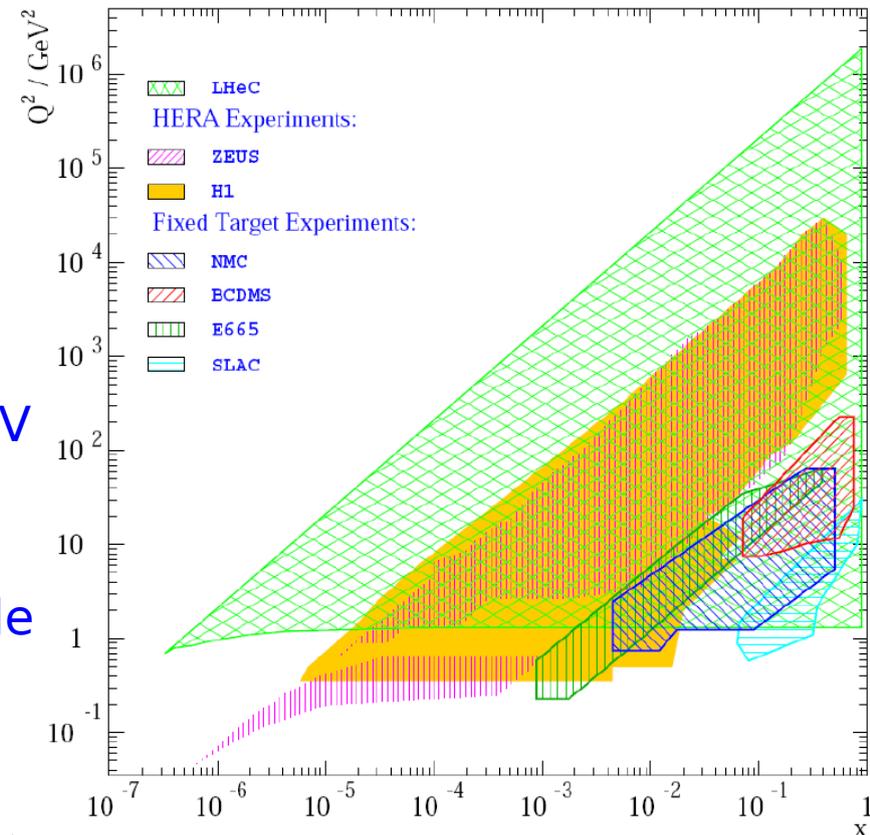
▶ LHeC étend le domaine cinématique de la structure partonique de noyaux (de 3-4 ordres de grandeur de magnitude)

👉 La sensibilité aux fermions excités dans les collisions ep avec une grande luminosité ($\sqrt{s} = 0.8 \text{ TeV}, 1.4 \text{ TeV}$ ou 2 TeV) ?

◆ Si la production d' e^* via GM ?

◆ Si la production d' e^* via CI ?

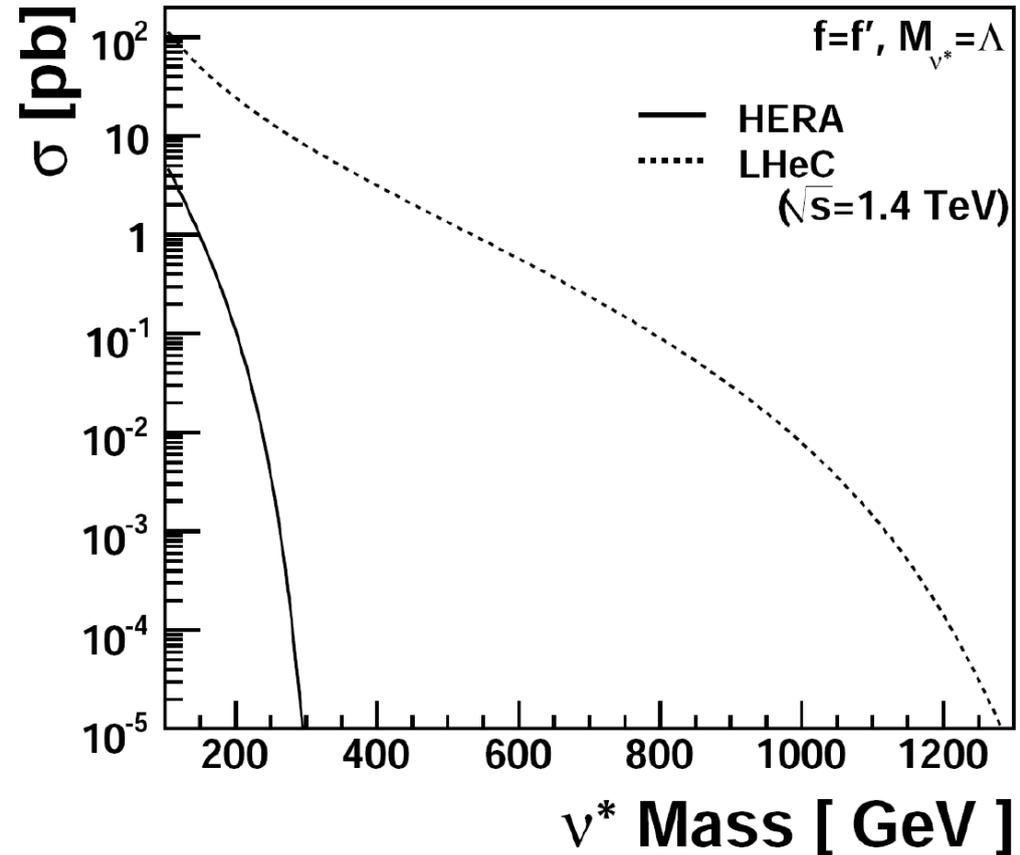
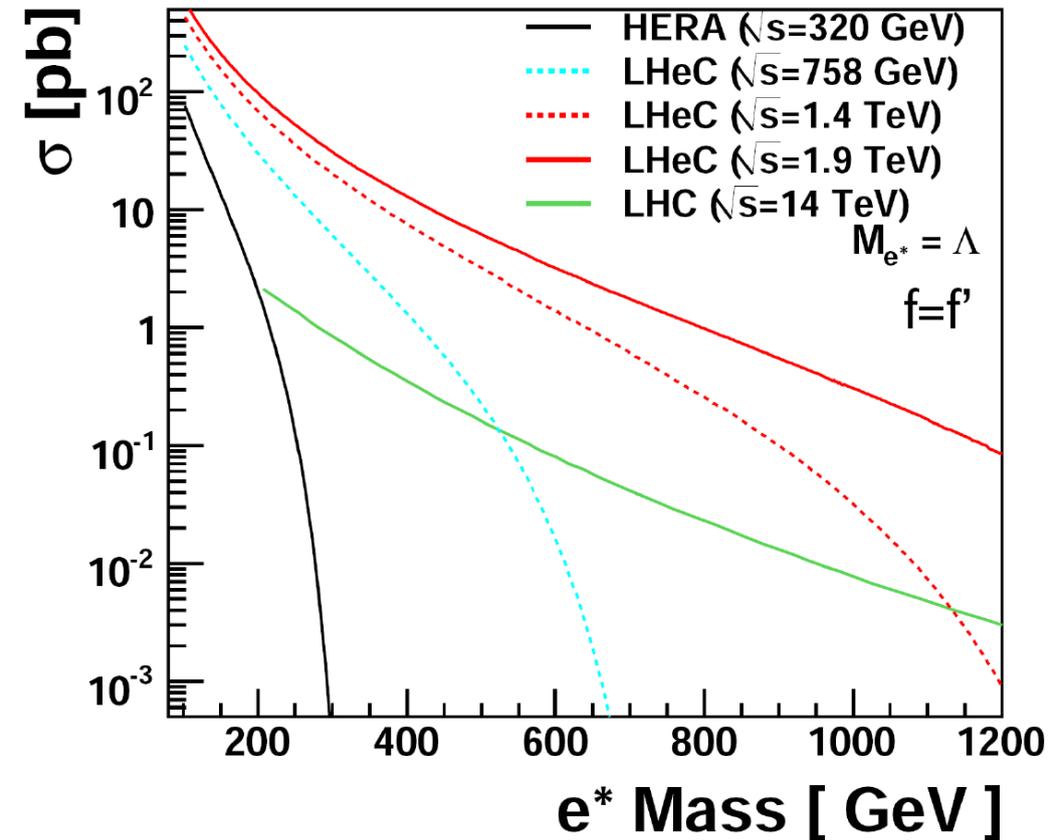
👉 Quelle serait l'importance de la source CI ?



Leptons excités @LHeC

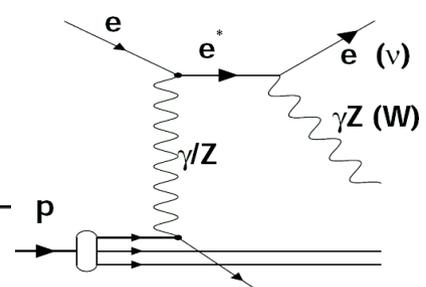
- Section efficace totale de la production simple de l^* via GM au LHeC

➔ Comparaison avec HERA et LHC



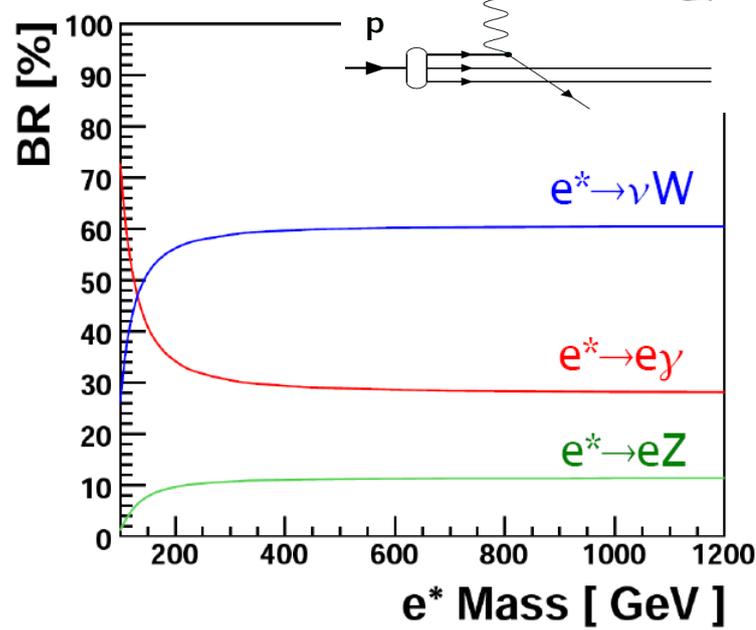
- Section efficace de la production simple de leptons excités est grande dans les collisions ep LHeC
- LHeC aurait sensibilité unique aux fermions excités

Electron existé @LHeC : $e^* \rightarrow e\gamma$



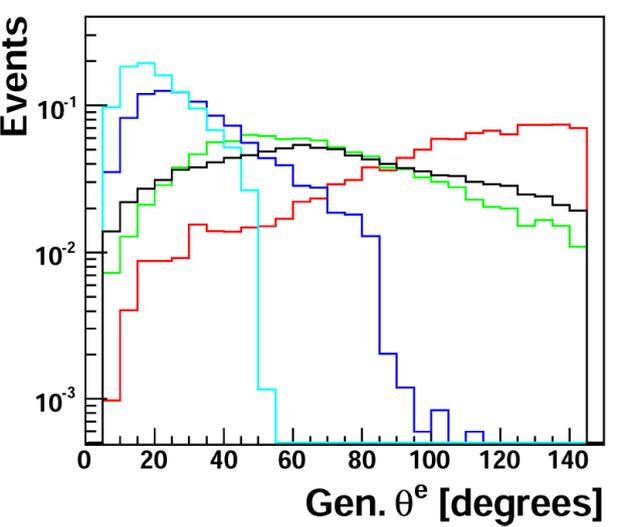
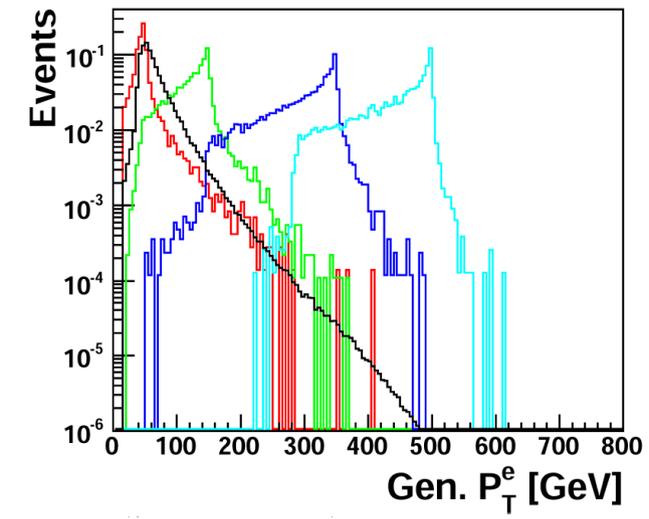
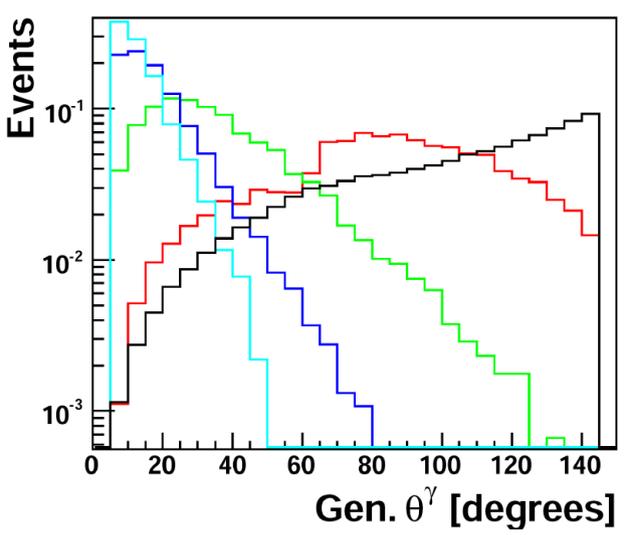
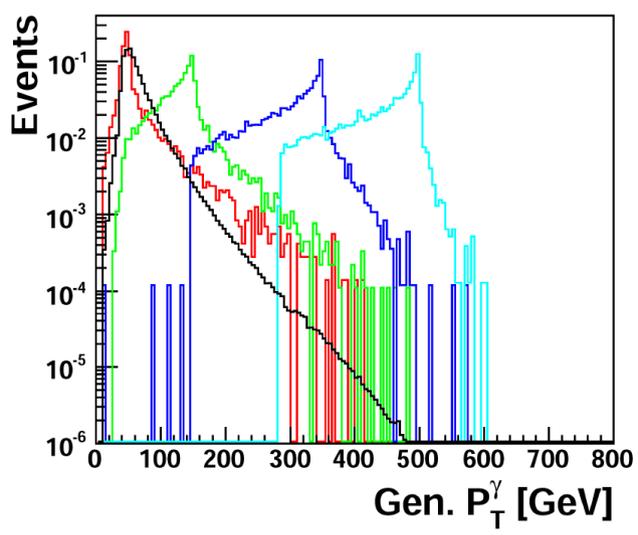
● Estimer la sensibilité de e^* @LHeC en utilisant le canal $e^* \rightarrow e\gamma$:

- Rapport de branchement étudié $\sim 35\%$
- Mais signature très claire, faible bruit de fond

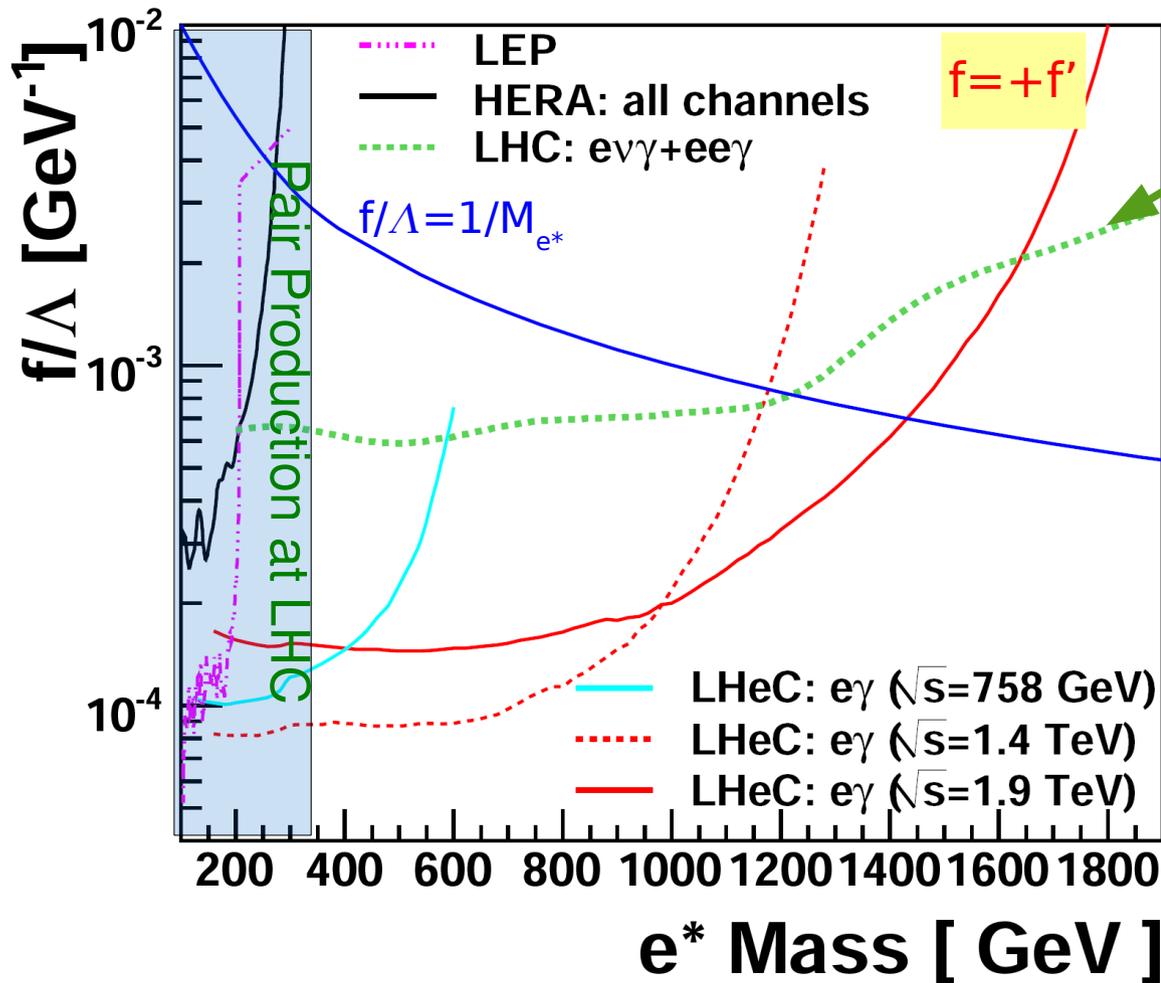


- e^* M=100 GeV
- e^* M=300 GeV
- e^* M=700 GeV
- e^* M=1 TeV
- SM Background

(normalisation Signal/SM arbitraire)
 resolution $M_{e^*} = 3\% M_{e^*}$



Limites attendues d' e^* @LHeC



[Phys. Rev D 65 (2002) 075003] (single prod.)

Sensibilité au LHeC,
avec $L=10 \text{ fb}^{-1}$ pour $E_e=70/20 \text{ GeV}$
avec $L=1 \text{ fb}^{-1}$ pour $E_e=140 \text{ GeV}$

- Sensibilité attendue du LHeC est plus stricte que les autres collisionneurs
 - ◆ Si LHC découvre un e^* : LHeC serait sensible à plus bas couplages f/Λ
 - ◆ Découverte potentielle pour les basses masses
- Peu de changement de la sensibilité du LHeC si l'interaction de contact est considérée

Conclusion et Perspectives

- État de la production de fermions excités après les collisionneurs (HERA, LEP, TEVATRON) a été revue

- ↘ Pas encore découverte

- ↘ HERA : toutes les données H1 ont été utilisées pour une recherche de fermions excités (e^* , ν^* , q^*)

- ☞ HERA : nouveaux domaines explorés

- les plus strictes limites au monde sur hautes masses de l^*

- sensibilité mieux que TEVATRON pour basses M^* et $f_s < 0.1$

- ☞ La production e^* via CI+GM ensemble a été étudiée

- Sensibilité aux futurs collisionneurs (LHC, ILC, LHeC) a été présentée

- ☞ LHC : la production de F^* par CI sera une source importante

- ☞ ILC : la sensibilité serait la même que LHC

- ☞ LHeC (s'il voit jour) : la sensibilité pour leptons excités serait plus grande que LHC et ILC

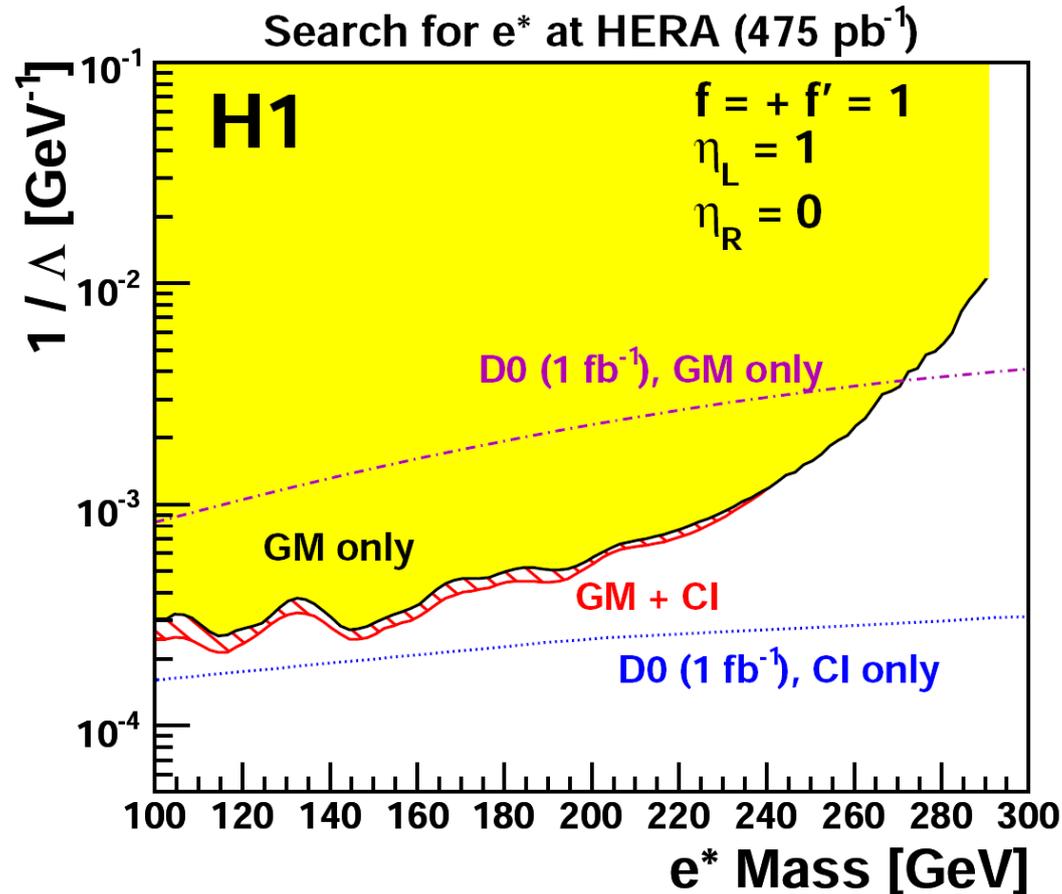


↘ Une chance pour une découverte?

Backup slides

Interaction de contact - e^*

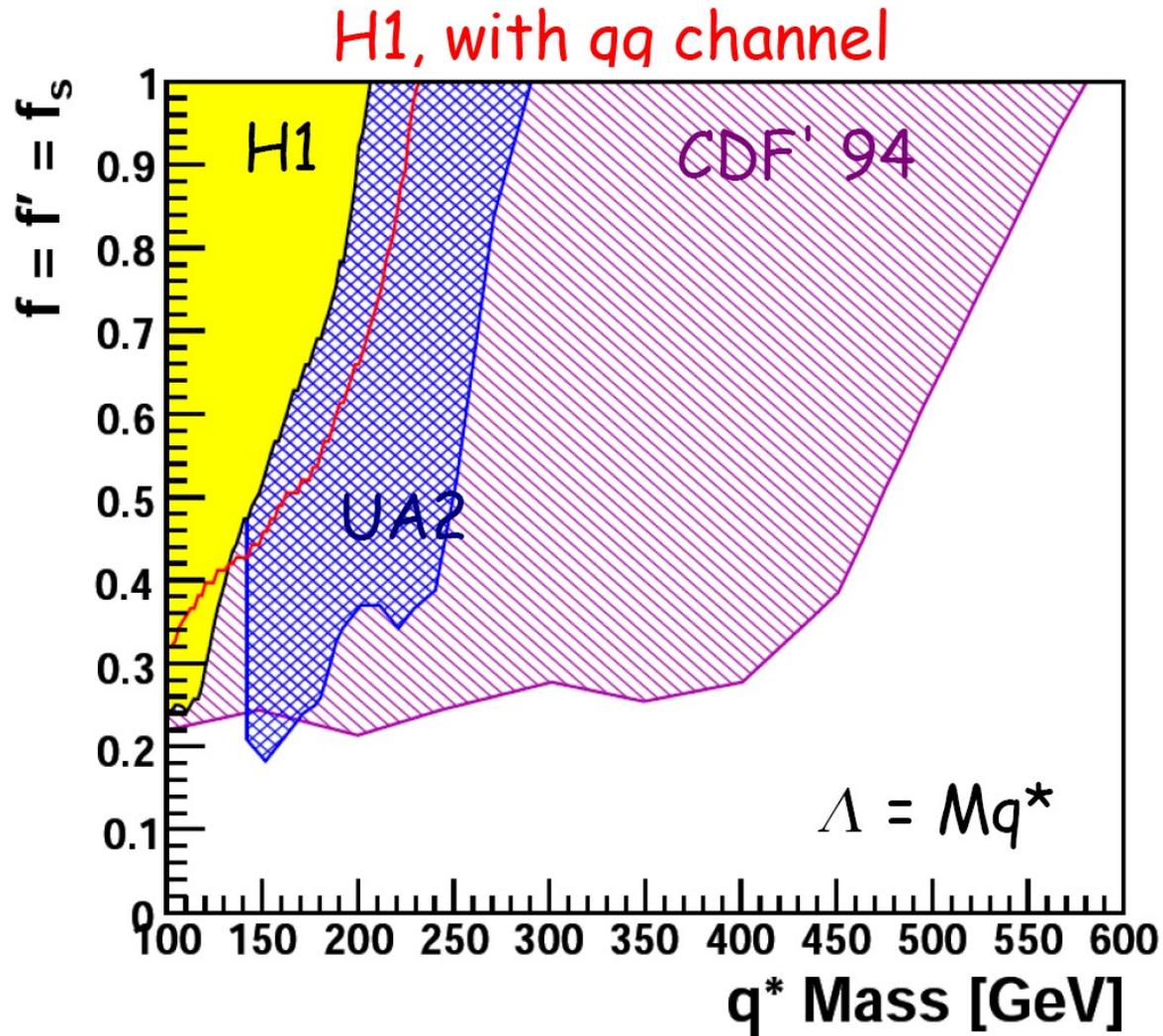
- TEVATRON : production CI domines sur production GM, interference term ne pas etre considéré
 - HERA : production GM domines sur production CI, interference term etre considéré (et dans nos cas, interference term est negative)
- ☑ Et desintegration : GM domines sur CI



↘ Limite HERA ne depende pas beaucoup a CI, au contraire au cas de TEVATRON

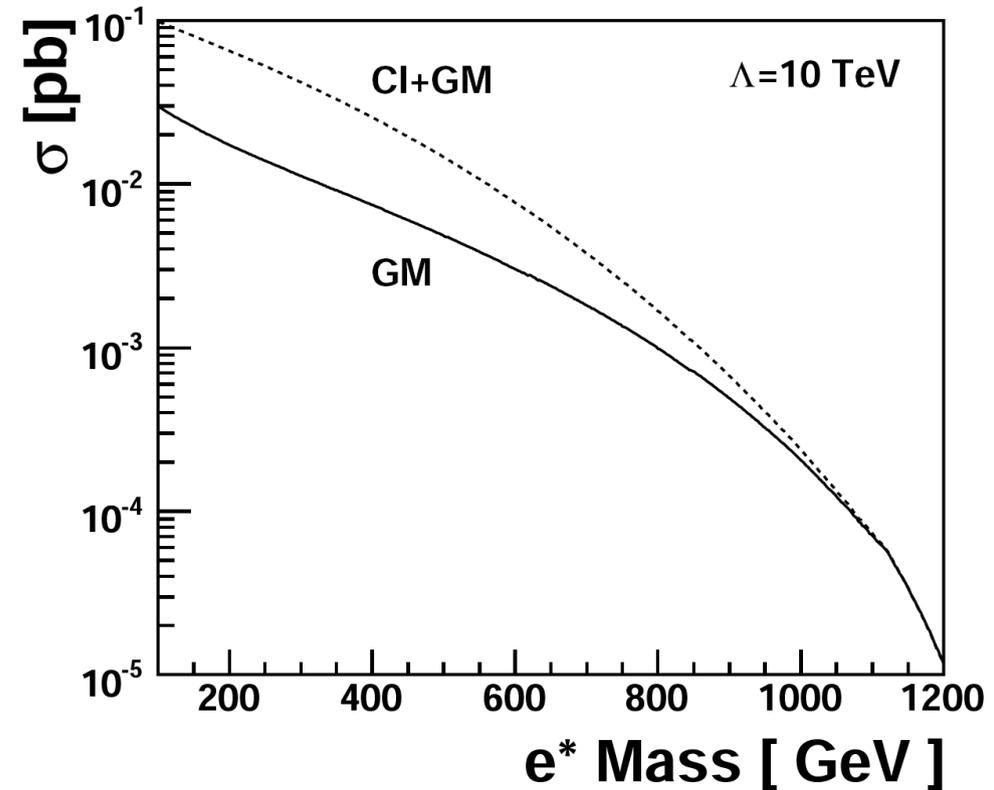
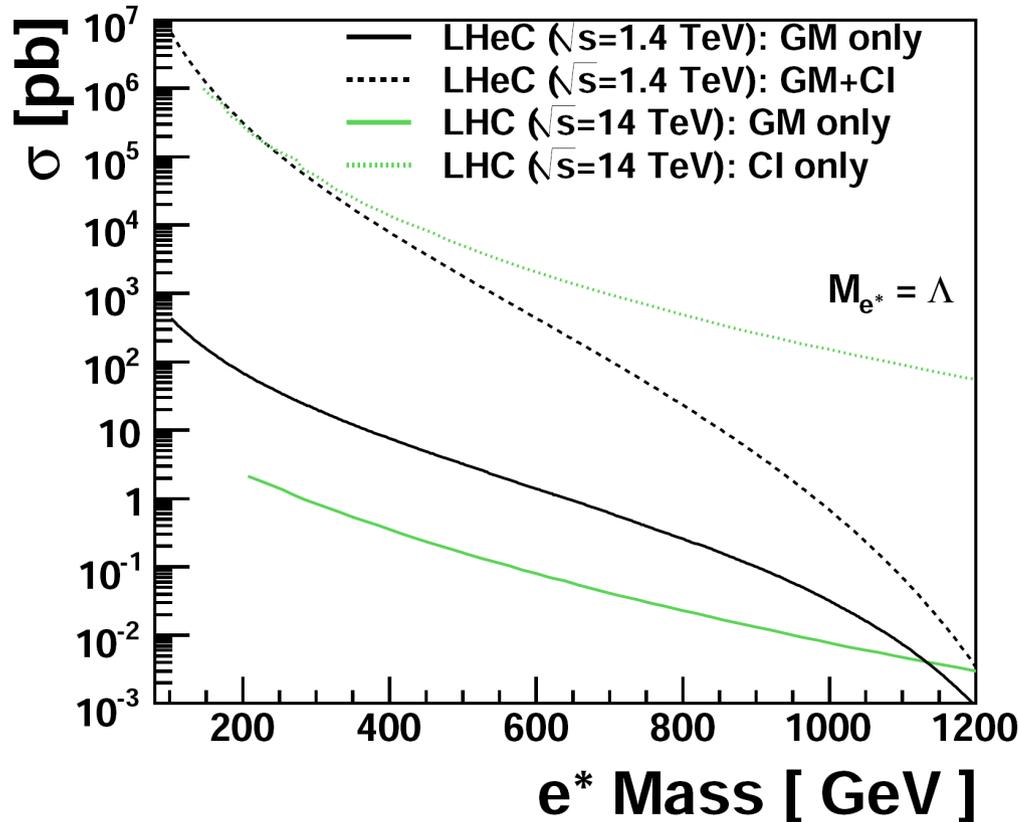
q^* @HERA : Limites avec $f_s \neq 0$

- Plot par convention de l'analyse du Tevatron : $f=f'=f_s$ et $\Lambda = Mq^*$



e^* @LHeC via Interaction de contact

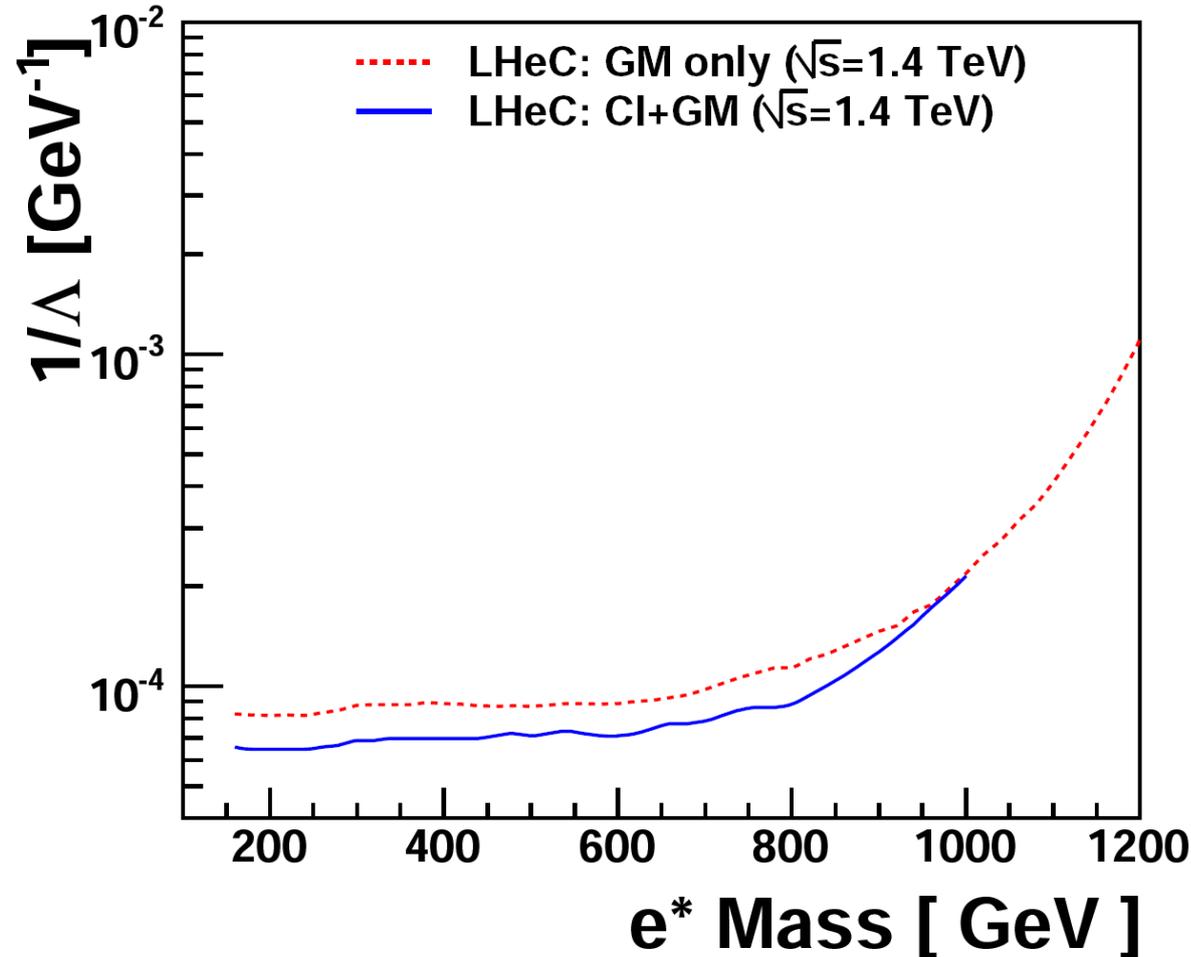
- Section efficace totale de la production e^* via CI au LHeC



- Dans les collisions ep (HERA, LHeC): source principale de la production e^* est dominée par GM
- Dans les collisions pp (Tevatron, LHC): source principale de la production e^* est dominée par CI

Limite attendue sur $1/\Lambda$ au 95% C.L

- Que gagne t-on en ajoutant l'interaction de contact (CI) à celle de gauge dans les collisions ep?



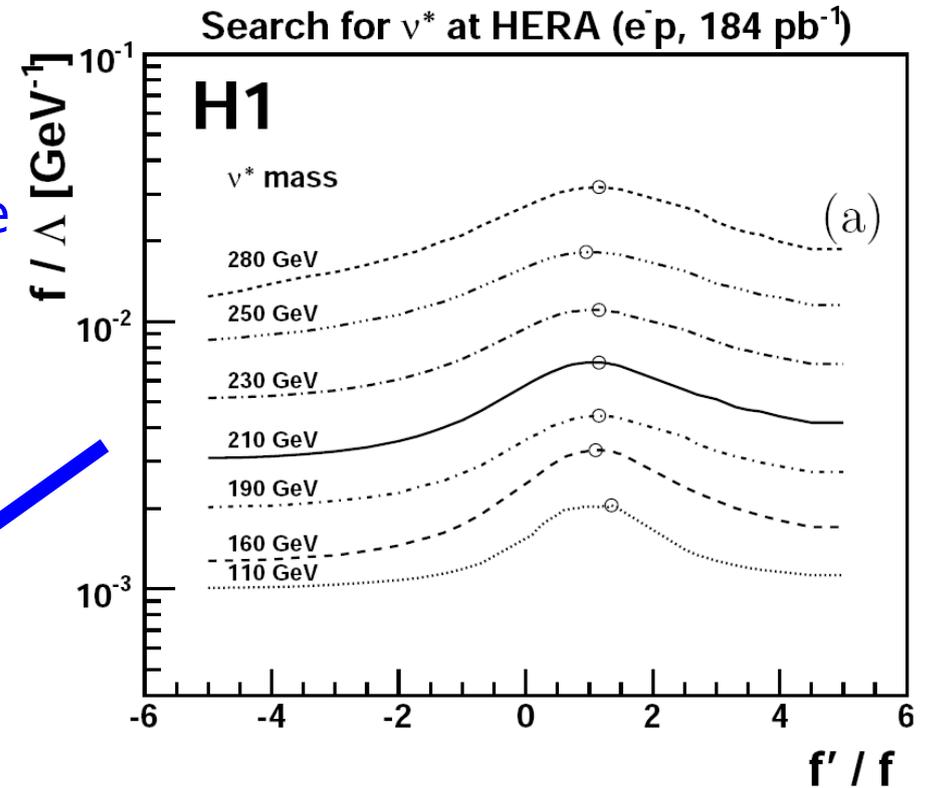
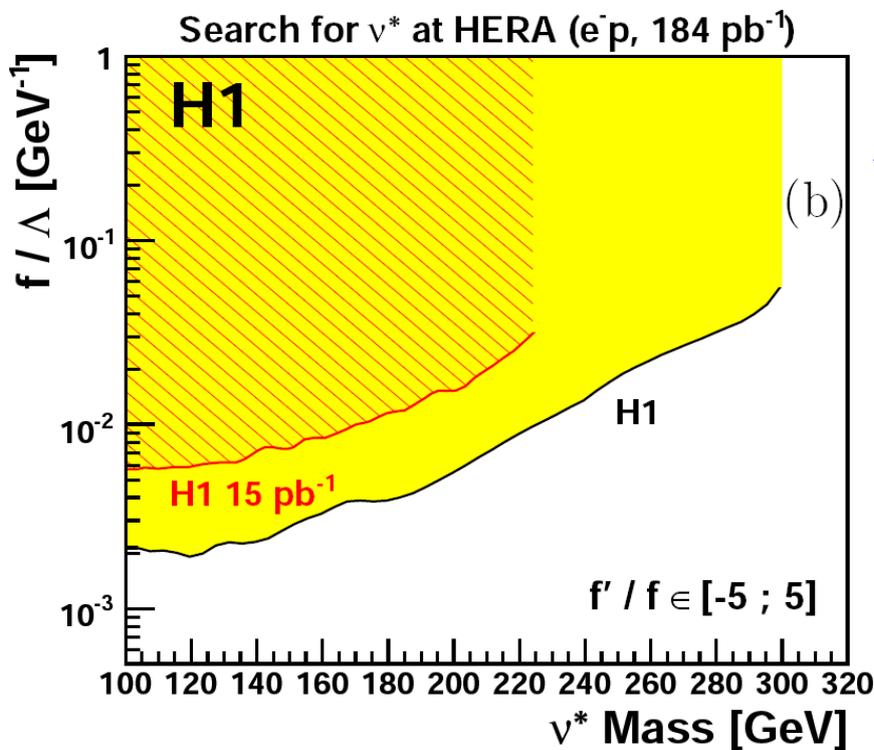
➔ Peu de changement de la sensibilité du LHeC si l'interaction de contact est considérée

Limites en fonction de f'/f pour ν^*

• Un rapport f'/f arbitraire est considéré

↘ Vérifier la dépendance de la limite avec f'/f pour chaque masse ν^*

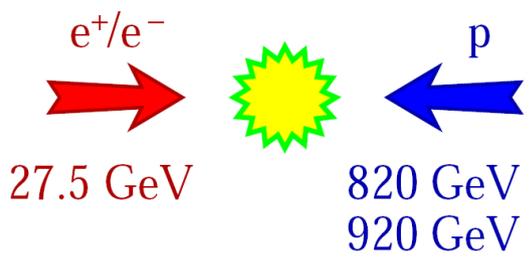
↘ Limites calculées dans le domaine $-5 < f'/f < 5$



↘ Les limites les plus conservatrices pour chaque masse M_{ν^*} sont choisies

→ Limite sur f/Λ indépendante du rapport à f'/f

→ limite très proche du cas $f=+f'$



Le fonctionnement de HERA

👉 **HERA I** 1994 - 2000

~ 120 pb⁻¹ par expérience
principalement en **e⁺p**

👉 **HERA II** 2003 - 2007

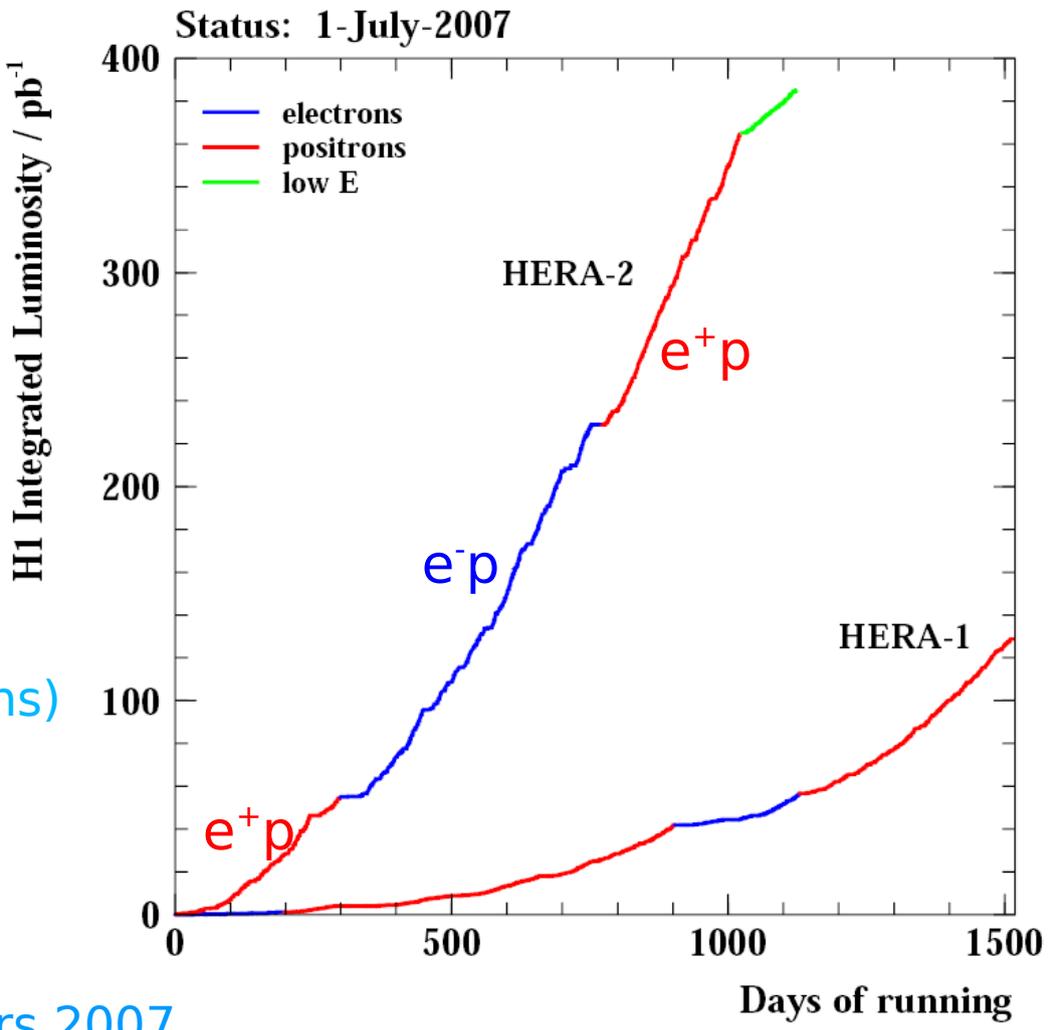
👉 Améliorations de HERA (Luminosité & polarisation du faisceau de leptons)

~ 350 pb⁻¹ par expérience,
~ autant de **e⁻p** que de **e⁺p**

👉 Runs à haute énergie terminés en Mars 2007

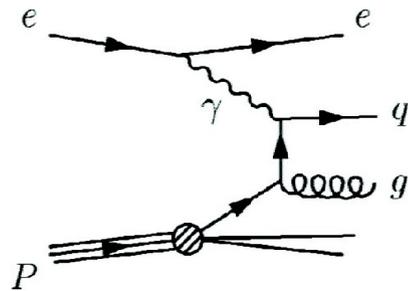
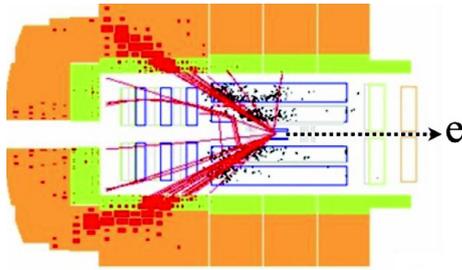
👉 Total: ~ 0.5 fb⁻¹

👉 utilisés pour la recherche de processus rares & exotiques ($\sigma < 1$ pb)

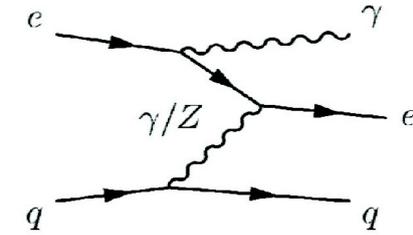
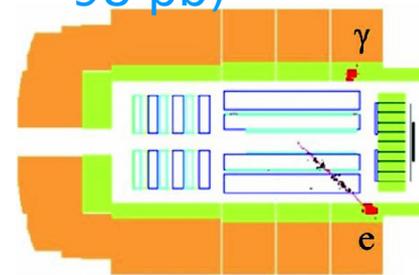


Principaux processus du MS à HERA

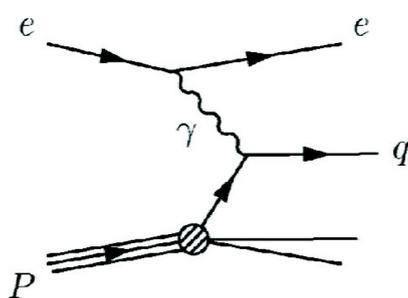
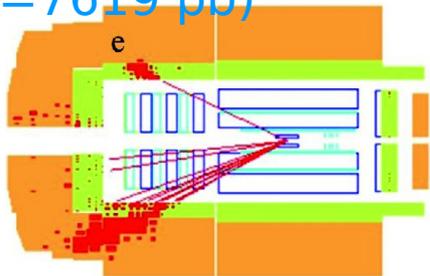
- Photoproduction: $\gamma p \rightarrow X$ ($\sigma^{\text{direct}}=14292$ pb)



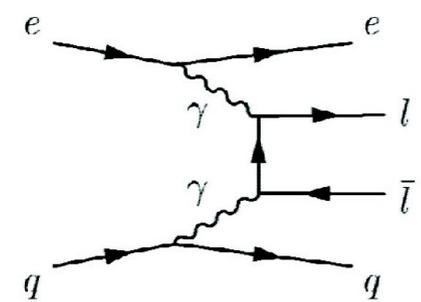
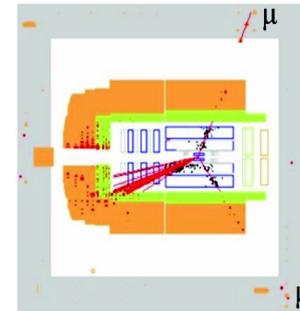
- QED Compton: $ep \rightarrow ey X$ ($\sigma^{\text{elast}}=98$ pb)



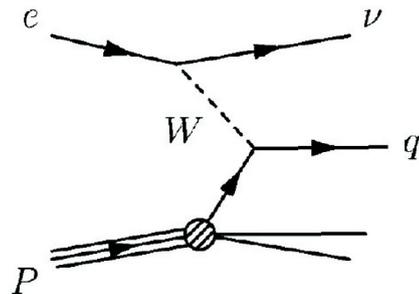
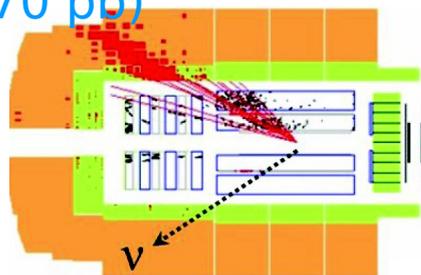
- Courants Neutres (CN): $ep \rightarrow e X$ ($\sigma=7619$ pb)



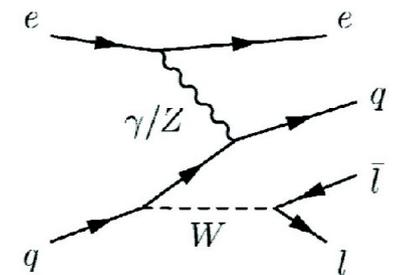
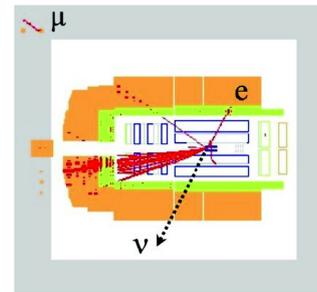
- Production de paire de leptons: $ep \rightarrow ell X$ ($\sigma^{\text{inelas}}=26$ pb)



- Courants Chargés (CC): $ep \rightarrow \nu X$ ($\sigma^{\text{e-}}=70$ pb)



- Production de W: $ep \rightarrow eW X$ ($\sigma=0.05$ pb)



$\Lambda_{LL}^+(eeee) > 3.1 \text{ TeV}$	OPAL
$\Lambda_{LL}^-(eeee) > 3.8 \text{ TeV}$	
$\Lambda_{LL}^+(ee\mu\mu) > 7.3 \text{ TeV}$	OPAL
$\Lambda_{LL}^-(ee\mu\mu) > 4.6 \text{ TeV}$	
$\Lambda_{LL}^+(ee\tau\tau) > 3.9 \text{ TeV}$	OPAL
$\Lambda_{LL}^-(ee\tau\tau) > 6.5 \text{ TeV}$	
$\Lambda_{LL}^+(llll) > 6.4 \text{ TeV}$	OPAL
$\Lambda_{LL}^-(llll) > 7.2 \text{ TeV}$	
$\Lambda_{LL}^+(\nu\nu qq) > 5.0 \text{ TeV}$	NUTEV
$\Lambda_{LL}^-(\nu\nu qq) > 5.3 \text{ TeV}$	
$\Lambda_{LL}^\pm(qqqq) > 2 \text{ TeV}$	D0
$\Lambda_{LL}^+(\mu\mu qq) > 1.4 \text{ TeV}$	CDF
$\Lambda_{LL}^-(\mu\mu qq) > 1.6 \text{ TeV}$	